



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

Estudi d'aplicacions tecnològiques per a la detecció de senyals de trànsit

Memòria del projecte
d'Enginyeria Tècnica en
Informàtica de Sistemes realitzat per
Miquel Riera i Marimon
i dirigit per
Marta Prim Sabrià

Escola Universitària d'Informàtica
Sabadell, Juny de 2009

La sotasignant, Marta Prim Sabrià
professora de l'Escola Universitària d'Informàtica de la UAB,

CERTIFICA:

Que el treball al que correspon la present memòria
ha estat realitzat sota la seva direcció
per en Miquel Riera Marimon

I per a que consti firma la present.
Sabadell, Juny de 2009.

Signat: Marta Prim Sabrià

Agraïments

Vull agrair molt especialment a la meva família tot el suport, paciència, confiança, ànim... que m'han donat al llarg de tots aquests anys d'Universitat. Heu estat una peça clau per a mi per arribar fins aquí. Moltes gràcies!

També, a tots els amics i amigues per fer-me desconnectar, ajudar-me, recolzar-me, i animar-me sempre compartint “unes rises”.

Igualment, gràcies a tots els experts que heu col·laborat en el projecte. Especialment a la Marta que m'ha orientat, guiat i ajudat en tot moment.

A tots vosaltres, moltes gràcies per tot!!

Resum del projecte

El projecte que es presentarà a continuació té la funció de demostrar que, per mitjà de solucions tecnològiques, és possible fer més segures les carreteres per les quals se circula diàriament.

Com es podrà veure tot seguit, es presenten dos mètodes de detecció de senyals de trànsit. Aquests mètodes, tenen com a objectiu demostrar que és possible crear un sistema que permeti al cotxe tenir uns nivells bàsics “d'intel·ligència” que els permetin reconèixer i entendre la situació de la carretera. Això es durà a terme a través d'un sistema de detecció de senyals basat en radiofreqüència, i la presentació teòrica d'un altre sistema que explicarà possibles mètodes de detecció de senyals per mitjà d'imatges preses a temps real.

Igualment, s'inclou una demostració pràctica basada en el mètode de detecció per radiofreqüència. En aquesta, es veurà com un sensor que comunica amb l'ordinador a través de radiofreqüència, mostra per pantalla un senyal amb el que s'haurà creuat prèviament.

S'ha de dir que el projecte és una primera idea del que podria ser un sistema homologat de cara a un futur no massa llunyà i que, per tant, val la pena seguir desenvolupant idees que continuïn la línia començada en aquest projecte.

Finalment, s'exposaran el que seran, per l'autor, les conclusions de tots els mesos de feina emprats pel desenvolupament del sistema presentat.

Índex

Capítol 1: Introducció.....	1
1.1.- Descripció.....	1
1.2.- Estat de l'art.....	2
1.3.- Estructura de la memòria.....	3
 Capítol 2: Estudi de Viabilitat.....	 4
2.1.- Introducció.....	4
2.2.- Objectius.....	4
2.3.- Perfil usuari.....	5
2.4.- Fonts d'informació.....	5
2.5.- Descripció del sistema.....	5
2.6.- Avaluació de riscos.....	6
2.7.- Organització del projecte.....	6
2.8.- Planificació del projecte.....	7
2.9.- Anàlisi de costos i beneficis.....	10
2.10.- Conclusions de l'estudi de viabilitat.....	10
 Capítol 3: Radiofreqüència i radiofreqüència amb identificador....	 12
3.1.- Introducció.....	12
3.2.- Radiofreqüència.....	17
3.2.1.- Introducció.....	17
3.2.2.- Efectes de les ones de radiofreqüència.....	18
3.2.3.- Antenes de radiofreqüència.....	20
3.3.- Identificació per radiofreqüència (RFID).....	22
3.3.1.- Què és la radiofreqüència ID?	22
3.3.2.- Breu història de la radiofreqüència ID?.....	22
3.3.3.- Com funciona la radiofreqüència ID?.....	23
3.3.4.- Freqüències de treball.....	24
3.3.5.- Radiofreqüència ID o codis de barres?.....	26
3.3.6.- Components d'un sistema de radiofreqüència ID.....	26
3.3.7.- Classificació de les etiquetes en funció de la memòria.....	32
3.3.8.- Normalització.....	32
3.3.9.- Exemples.....	33
 Capítol 4: Tecnologia ZigBee.....	 38
4.1.- Per què ZigBee?.....	38
4.2.- Tecnologia ZigBee.....	39
4.3.- Estàndard IEEE 802.15.4.....	40

4.3.1.- Capa física (PHY).....	41
4.3.2.- Capa d'enllaç de dades (Data Link Layer, DLL).....	41
4.3.3.- Capa de xarxa.....	42
4.3.4.- Capa de suport a l'aplicació.....	43
4.3.5.- Capa d'aplicació.....	43
4.4.- Característiques.....	44
4.5.- Tipus de dispositius.....	45
4.5.1.- Coordinador ZigBee (ZC).....	45
4.5.2.- Router ZigBee (ZR).....	45
4.5.3.- Dispositiu Final (ZED).....	45
4.6.- Classificació dels dispositius en base la seva funcionalitat.....	46
4.6.1.- Dispositius de funcionalitat completa (FFD).....	46
4.6.2.- Dispositius de funcionalitat reduïda (RFD).....	46
4.7.- Components principals del projecte.....	46
4.8.- Empaquetament, direccionament i seguretat.....	47
4.8.1.- Empaquetament.....	47
4.8.2.- Direccionament.....	50
4.8.3.- Seguretat.....	51
4.9.- Arquitectura.....	51
4.9.1.- La ZigBee stack.....	51
4.9.2.- SimpliciTI network.....	53
4.10.- Característiques del kit de desenvolupament "MSP430 eZ430-RF2500".....	53
4.11.- Topologies.....	55

Capítol 5: Detecció de senyals a temps real a través d'imatges.....58

5.1.- Conceptes previs.....	58
5.2.- Introducció.....	59
5.3.- Breu història de la detecció d'imatges a través d'enregistrament a temps real.....	59
5.4.- Metodologia.....	59
5.5.- Dificultats reals.....	63
5.6.- Mètodes basats en la detecció de formes.....	66
5.6.1.- Introducció.....	66
5.6.2.- Detecció de candidats.....	67
5.6.3.- Classificació de candidats.....	69
5.7.- Mètodes basats en la detecció de colors.....	69
5.7.1.- Introducció.....	69
5.7.2.- Segmentació d'imatges en funció del color.....	69
5.7.3.- Variacions del color en imatges d'exterior.....	73
5.7.4.- Constància del color.....	75
5.7.5.- Selecció de candidats en funció de la informació cromàtica.....	75
5.7.6.- Distribucions Gaussianes per a modelar la intensitat dels píxels.....	76

Capítol 6: Implementació.....	79
6.1.- Codis d'execució.....	81
Capítol 7: Conclusions.....	85
7.1.- S'han complert els objectius?.....	87
7.2.- Ampliacions del projecte.....	87
Bibliografia.....	89

Capítol 1: Introducció

1.1.- Descripció:

Els avenços tecnològics i la investigació en tècniques de conducció automàtica, han de ser camps bàsics en el desenvolupament dels automòbils d'un futur proper. Aquests avenços han de permetre salvar vides, estalviar temps i diners als usuaris i contribuir en millorar el medi ambient. Per aquests motius entre altres, la recerca a l'hora de millorar en aquests camps ha d'adquirir un gran potencial, i ha de continuar creixent per aconseguir millors resultats de cara al futur.

Parlar d'avenços tecnològics és parlar de desenvolupament en les tecnologies emergents com poden ser nous models de sensors, sistemes avisadors sense fil, visió i intel·ligència artificial, processament de dades, tecnologies de posicionament (via satèl·lit, Internet...), etc.

Els sistemes de reconeixement de senyals juguen un paper important en els sistemes de suport als conductors. Com que els conductors no sempre perceben els senyals de la manera desitjada (degut a distraccions, pèrdua de concentració, mala visibilitat, etc.) en algunes ocasions val la pena recordar-los que acaben de passar pel costat d'un senyal, és a dir, recordar-los la informació no vista. Igualment, un sistema d'aquestes característiques permet al cotxe poder entendre la carretera. Aquest fet pot ser la base de futurs sistemes de seguretat independent en vehicles.

Els senyals es poden dividir en 3 grans blocs: Informació, prohibició (o obligació) i perill. Davant d'un senyal d'informació, el conductor no ha de fer res més que parar atenció en el que diu el senyal. Davant un de perill, al contrari, el conductor haurà d'actuar sobre els controls del seu vehicle per obeir el que ordena el senyal. Un sistema interior del cotxe pot percebre si un conductor ha vist o no un d'aquests senyals, i actuar en cas que no ho faci el conductor (per exemple, el cotxe es podria frenar automàticament en cas que davant un senyal d'stop el conductor no activés els frens).

Les carreteres i els senyals de trànsit han estat dissenyats per ser distingits de l'entorn d'una manera clara. Segueixen una pauta que els fa reconeixibles pels conductors i alhora respecten, en la mesura del possible, el medi ambient. Estan dissenyats seguint una base bi-dimensional i estan impresos sobre formes geomètriques com poden ser els triangles, rectangles, cercles o octògons on es dibuixa el missatge a transmetre. El missatge en qüestió, pot ser una o varies paraules, símbols, i imatges concretes. Tant les paraules com les imatges, sempre seran del mateix color i tindran la mateixa mida. Igualment, els colors dels senyals estan triats perquè aquests puguin ser distingits el més fàcilment possible del medi ambient i, d'aquesta manera, els conductors els puguin reconèixer fàcilment. Un altre tret distintiu dels senyals, és que estan situats en punts ben definits de la carretera. Així doncs, el conductor pot intuir en certa manera la seva aparició. De totes maneres, i sense que els responsables de manteniment ho puguin evitar, s'ha de dir que moltes vegades el senyal i el seu missatge es poden veure alterats per agents externs. Arbres o vegetació, l'exposició a la llum solar, els agents meteorològics, etc.

lògics adversos, els actes de vandalisme, etc. Són factors que poden desembocar en la no correcta recepció del missatge a transmetre.

És important deixar clar que en cap cas es tracta de crear un nou sistema de detector de velocitat per multar als vehicles que facin infraccions, sinó tot el contrari. El que es vol mostrar (o estudiar) és un sistema que amb el vehicle com a receptor ens recordi, per totes les carreteres per les que circulem, quina és la velocitat màxima permesa, o els possibles perills, advertiments o recomanacions que ens hi podem trobar i que es mostren gràcies als senyals de trànsit. És a dir, estar informat en tot moment de quines són les precaucions que s'han de prendre a la via per la que circulem, i que la decisió de respectar-les o ignorar-les sigui només del conductor. Així doncs, ens avisarà si venen corbes perilloses, si cal tenir cura perquè és una carretera lliscant, si s'acosta un tram de revolts, si poden creuar la calçada grups d'animals, etc. Per dur-ho a terme, cal que l'avís estigui situat en un senyal de trànsit al marge de la carretera on pugui comunicar amb el vehicle que s'hi acosti. D'aquesta manera es podrà tenir, en tot moment, la informació necessària per no infringir les normes vials.

Segurament a tots ens ha passat i, probablement en més d'una ocasió, que circulant per una carretera de característiques no comuns (marge amb distància superior a un metre i mig d'ample, o una mitjana separadora dels dos sentits de circulació, etc.), no sabem exactament quin és el límit de velocitat al que s'ha d'anar. Evitar aquestes situacions de confusió, és un dels objectius del projecte. El que es vol dur a terme, és estudiar i valorar possibles tecnologies existents al mercat que ens permetin fer possible que aquests avisos es mostrin al panell de control del nostre cotxe de manera permanent i actualitzada i clara.

1.2.- Estat de l'art

Actualment, hi ha diferents sistemes que duen a terme una funció molt similar respecte la seguretat a les carreteres. Així doncs, es pot dir que la idea d'un sistema que pugui reconèixer els senyals per poder assistir al conductor en la conducció, és una idea ja inventada i que s'ha intentat dur a terme prèviament.

Per exemple, el fabricant d'automòbils Opel ha desenvolupat, juntament amb la marca Hella, un sistema que detecta senyals de velocitat i canvis de carril involuntaris a través d'una càmera situada al retrovisor. La càmera en qüestió té la mida d'un telèfon mòbil estàndard, i és capaç de capturar 30 fotogrames per segon. Aquests fotogrames són analitzats pel software desenvolupat per General Motors i, una vegada analitzats, retornen la informació del senyal corresponent al conductor. El sistema de detecció de senyals, TSR, llegeix els senyals de límit de velocitat i els mostra al panell de comandaments durant uns segons, sempre que es sobrepassi la velocitat permesa. Aquest sistema és capaç de veure els senyals a una distància de fins a 100 mts. Igualment, l'avís de canvi de carril, LDW, emet uns senyals acústics i visuals quan el vehicle fa un canvi de carril involuntari. Cal notar que en ambdós casos es poden desconnectar els sistemes.

Paral·lelament, l'Estat està impulsant un projecte que té com a finalitat una idea similar a la que s'exposarà en aquest treball. El projecte en qüestió es diu "Cabintec, cabina intel·ligent

para transporte por carretera”, i està format per varis sub-projectes que tenen com a finalitat dissenyar l'habitacle d'un vehicle, dotat amb tecnologies intel·ligents, capaces de detectar el comportament del conductor i, igualment, estudiar els paràmetres que caracteritzen a vehicle i conductor els instants previs a patir un accident. El sub-projecte Cabintec que interessa consultar és l'anomenat “eSeñal Cabintec”, que es fonamenta en un sistema de senyalització intel·ligent que informa al conductor dels senyals de trànsit sense que aquest els hagi de visualitzar i interpretar. Igualment, aquest projecte inclou informació de l'estat de la carretera com puguin ser possibles accidents, obres o retencions. El projecte Cabintec és un projecte que està en fase de desenvolupament però que per raons d'infraestructures i econòmiques no avança.

1.3- Estructura de la memòria

La memòria presentada s'ha redactat seguint, aproximadament, el procés de desenvolupament del projecte.

Per fer aquest projecte, el que s'ha fet en primer lloc ha estat triar les tecnologies a analitzar per, una vegada decidides, buscar la màxima informació possible. Quan s'ha estat ben documentat, s'ha fet un exemple pràctic d'un dels sistemes, per demostrar que és viable.

Les tecnologies escollides són les següents:

- Sistema detector de senyals a través de RFID (radio-freqüència per identificador).
- Sistema detector mitjançant una càmera de vídeo que llegeix els senyals, les analitza i en mostra el resultat a temps real.

Naturalment, de sistemes de detecció i avisadors de velocitat n'hi poden haver de molts tipus, que emprin moltes tecnologies i que es fonamentin en principis diferents. Un exemple d'això podria ser implementar un sistema que detectés els senyals per mitjà de GPS. En un mapa GPS amb coordenades de posició del vehicle, es pot calcular fàcilment la velocitat a la que va. Igualment, si es sap prèviament quins són els trams de via que tenen un senyal concret, es pot implementar una aplicació que permeti mostrar els senyals situats a un punt determinat.

Aquest projecte, no obstant, es limitarà a explicar de manera teòrica en què es fonamenta la tecnologia de radiofreqüència i la tecnologia de radiofreqüència amb identificador (RFID). Seguidament, s'explicaran les característiques de la tecnologia emprada per a desenvolupar el projecte (ZigBee), i es mostrarà un dels possible codis que permetrà detectar un tag programat prèviament amb un senyal. D'aquesta manera, es podrà veure una idea plasmada a la realitat. Per acabar, es presentaran diferents mètodes de detecció de formes (en el nostre cas, senyals de trànsit) a través d'imatges capturades a temps real.

Capítol 2: Estudi de viabilitat

2.1.- Introducció

El projecte que es presenta tot seguit, es fonamenta en un estudi on es comparen dos sistemes detectors de senyals. Igualment, també s'ha fet una demostració pràctica de com es podria implementar un dels sistemes estudiats. Cal remarcar que la demostració feta és en base al material del que disposa la universitat i que ha estat cedit pel departament de Microelectrònica i Sistemes Electrònics de la mateixa.

El que vol demostrar el projecte és que actualment hi ha tecnologia capaç d'oferir ajuda visual al conductor en el camp de la comprensió de les carreteres. Per fer-ho, s'han triat dos tecnologies diferents i s'ha explicat a nivell teòric característiques de les mateixes. Igualment, s'ha dut a terme una demostració pràctica dels dos sistemes explicats, i s'ha pogut comprovar la dificultat que suposa realitzar un algorisme de detecció de formes per aplicar-lo a la detecció de senyals. La idea inicial era crear-ne un que permetés, igual que s'ha fet amb radiofreqüència, demostrar visualment que la detecció de senyals és factible. Ara bé, a mesura que s'anava realitzant el projecte, i es veien les moltes dificultats a les que s'ha de sotmetre un detector d'aquestes característiques, es va acabar per desestimar la idea. Al consultar professorat del departament de Ciències de la Computació, es va poder confirmar que un projecte d'aquesta envergadura correspondria a un treball de tesi doctoral. La recomanació, no obstant, va ser que la tasca de l'enginyer no només és programar un codi concret per una aplicació determinada, sinó que també ha de fer una feina molt important de documentació i informació prèvia que, si està ben feta, pot estalviar moltes hores de feina. Aquest va ser doncs, l'acord al que es va arribar. El projecte no inclouria la part pràctica de com detectar senyals de trànsit a temps real per mitjà d'imatges, però si que inclouria una secció teòrica de com es podria fer. Per tant els objectius del projecte són els de desenvolupar, a mode de demostració, un sistema capaç de reconèixer senyals de trànsit per mitjà de radiofreqüència i, alhora, realitzar una explicació teòrica de com es podria dissenyar un sistema de detecció d'imatges a temps real. Igualment, s'ha redactat una explicació sobre les característiques de la tecnologia de la radiofreqüència, i concretament sobre la tecnologia ZigBee (emprada per dur a terme el projecte).

2.2.- Objectius

El projecte exposat a continuació s'ha creat per donar una possible idea a l'hora de crear sistemes de seguretat i ajuda a la conducció. La idea d'aquest treball, és demostrar que es poden crear avisadors que actuïn junt al conductor, o de manera independent, i que permetin fer una conducció més segura tan per la persona que condueix el vehicle, com pels que van al seu voltant. El que es vol intentar plasmar, és una primera idea sobre com fer que els vehicles llegeixin i entenguin com és la carretera. Dit en altres paraules, es tracta de dotar als vehicles amb sistemes capaços d'interpretar quina norma de circulació existent s'ha de seguir en

un moment donat per, d'aquesta manera, avisar al conductor, alertar-lo en cas de que la seva conducció no sigui la correcta i qui sap si en un futur, fins i tot arribar a actuar en casos de possible negligència. Els experts calculen que si es milloressin els senyals vials, es podrien evitar entre un 5% i un 10% dels sinistres, el que es traduiria en, aproximadament, unes 30 morts anuals i milers de ferits menys. Val la pena, doncs, intentar col·laborar en la mesura del possible en evitar accidents a les carreteres.

2.3.- Perfil usuari

El més idoni seria que el desenvolupament de sistemes de seguretat al transport anés a més dia a dia i, per tant, el fet de desenvolupar una primera idea a la que recolzar-se com a base per a poder seguir desenvolupant-la, fa que el projecte vagi destinat a tota persona que vegi interessant el desenvolupament de la idea exposada. A llarg termini, si el projecte acabés convertint-se en una realitat, aniria destinat a tots i cadascun dels usuaris de vehicles, públics i privats, que circulin per carretera i disposin del sistema detector de senyals.

2.4.- Fonts d'informació

Com es podrà observar més endavant, aquest és un projecte desenvolupat en la seva gran majoria per idees teòriques. Per plasmar-les, s'haurà de fer una recerca de documentació exhaustiva i, posteriorment, fer un filtratge d'informació per tal d'agafar, tan sols, la considerada més important. Aquesta informació es traurà bàsicament d'articles creats per universitats, de consultes a empreses desenvolupadores de sistemes que emprin la mateixa tecnologia o similar i opinions de coneixedors de la matèria. Igualment, la documentació inclosa a les referències dels dispositius també serà de gran ajuda. Una vegada sabuts els coneixements i aspectes tècnics de cada tecnologia exposada, el que es farà és aplicar-la de la millor manera considerada per aconseguir l'objectiu de crear un sistema detector de senyals de trànsit.

2.5.- Descripció del sistema

- **Descripció**

El sistema que es presenta tot seguit estarà format per varis components. Per començar es necessitarà un dispositiu lector de radiofreqüència. Aquest s'instal·larà en algun dispositiu homologat per a poder posar al cotxe i serà l'encarregat de llegir les ones emeses des dels senyals de la carretera. Rebut el senyal, el lector passarà la informació a un processador que la rebrà, entendre, traduirà i mostrarà de manera que el conductor la pugui llegir o escoltar i comprendre sense desviar l'atenció de la carretera. Paral·lelament, cada senyal de trànsit haurà d'estar dotat d'un tag que envii als vehicles un codi. Aquest codi, serà el que el lector rebrà i tractarà. Cal dir, que cada senyal té un codi diferent en funció del significat que vulgui donar (es veurà amb detall més endavant).

Cal remarcar que el projecte també mostrarà, de manera teòrica, algunes idees de com tractar imatges per a descobrir les formes i símbols concrets que aquesta contingui. Això vol dir que en base a documentació consultada, s'exposaran diferents mètodes per solucionar els problemes de detecció de senyals, sorgits arrel de buscar-los en imatges preses a temps real. Es parlarà de la tecnologia necessària per dur-ho a terme, i es donarà una idea de com enfocar els algorismes encarregats de tractar les imatges capturades.

- **Recursos**

Per desenvolupar aquest projecte, es faran servir dos tipus de recursos. Els primers a esmentar són els recursos humans. Aquests seran les aportacions fetes per tota la gent amb qui poder consultar informació. En aquest grup, s'hi inclouen tots els docents amb qui s'haurà de parlar, el personal de contacte de les empreses que puguin ser d'ajuda, etc.

Igualment, s'hauran d'emprar recursos materials per poder implementar el sistema. Aquests recursos són recursos de hardware i de software. Els dispositius que s'empraran per a realitzar el sistema, igual que les interfícies que es faran servir per programar-les, formen part d'aquests recursos. També, a l'hora de redactar el projecte, documentar-se i presentar-lo, són necessaris recursos de programari que permetin exposar la feina desitjada, com poden ser processadors de textos, powerpoint, etc.

2.6.- Avaluació de riscos

S'ha de comentar que no s'han detectat riscos a patir durant el desenvolupament del projecte i la seva posterior aplicació. Tot i que es manipulen aparells elèctrics, s'ha de dir que aquests són de baixa potència i no poden causar cap desperfecte ni cap mal. El màxim perill que hi pot haver és fer una connexió invertida, fet que com a molt provoca que el circuit del xip es reescalfi i es pugui arribar a cremar. S'ha d'afegir que el fet que no s'implementi a gran escala fa que els riscos siguin mínims. Degut a que és un sistema que està en una fase de desenvolupament molt prematura, aquest no es farà servir pel dia a dia. D'aquesta manera es pot dir que en cas de fallada no es veurà afectada cap persona, simplement es detectarà l'error a la pantalla del debugger, o es generarà un error de transmissió. Per aquests motius es pot dir que l'únic risc serà que els dispositius no comuniquin bé entre ells, o mostrin un missatge erroni.

2.7.- Organització del projecte

El desenvolupament d'un projecte com el que es presenta a continuació ha implicat el treball d'un conjunt de persones. Com tot treball en equip, ha estat necessària una coordinació i organització per dur a terme la tasca dins els períodes de temps requerits.

Aquesta tasca l'hem dut conjuntament amb la tutora del projecte. Per posar-nos d'acord, coordinar tota la informació acumulada i, alhora, per a comentar dubtes, aclariments, i gestionar la informació de la millor manera possible, s'han fet reunions cada quinze dies des de

mitjans de Novembre. A més a més del que ja s'ha dit, en aquestes s'explicaven dubtes, idees, i es donaven diferents perspectives de com dur a terme el projecte. A mesura que passaven els mesos, la documentació i la línia a seguir s'anava definint i aclarint de manera considerable.

Al principi es disposava de molta informació que es va anar convertint, poc a poc, amb el redactat del projecte que es presenta a continuació. Aquesta informació es va anar canalitzant fins que va derivar en l'estructura de la present memòria. Com es veurà seguidament, el projecte s'ha dividit en dos grans blocs, que són el de detecció de senyals per radiofreqüència i el de detecció de senyals a través d'imatges preses a temps real. Es va valorar la idea de fer una implementació pràctica de cada un dels dos blocs. No obstant, demostrar de manera pràctica la detecció d'imatges a temps real es va haver de descartar degut a la complexitat del sistema. D'aquesta manera, es va decidir que la part de radiofreqüència tindria demostració pràctica i la de detecció per mitjà d'imatges seria un conjunt d'idees teòriques sobre com implementar un possible sistema que dugués a terme l'objectiu buscat.

Per desenvolupar la demostració pràctica, es va contactar amb diverses empreses per veure quina seria la millor solució, i quin el millor hardware, per poder-ho implementar. No obstant, degut a les condicions econòmiques requerides, es va decidir emprar un kit propietat de la universitat. A partir d'aquí, prenent com a base una demostració inclosa en el mateix kit, es va desenvolupar una aplicació que duia a terme l'objectiu requerit pel projecte.

Finalment, amb tota la informació recopilada es va començar a redactar la memòria, alhora que s'acabava el desenvolupament de la demostració pràctica. Aquí és on més s'ha notat el treball en equip, doncs al moment de redactar la memòria ha estat clau la guia de la tutora aconsellant, corregint i orientant a l'hora d'escriure pàgines i idees que no quedaven clares o es podien millorar.

2.8.- Planificació del projecte

El projecte que es mostra tot seguit s'ha dividit en varis blocs clarament diferenciats. El primer bloc, és el que fa referència a l'estudi de viabilitat. Abans de començar a desenvolupar el cos del projecte s'ha de fer un estudi per saber si és factible i possible la realització del projecte. Després, s'ha dut a terme la documentació d'aquest. La informació recollida haurà de servir per redactar-ne una part. Una vegada estigui la part teòrica redactada, ja es podrà començar amb la part de la implementació. Mentre es realitzen tots aquests apartats es farà, de manera simultània, la redacció de la memòria.

Seguidament es mostren dos figures que mostren les tasques que es duren a terme i el diagrama temporal on hi ha estructurada la planificació del projecte.

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos
1	Análisis de viabilidad	64,25 días	mié 05/11/08	jue 27/11/08		Enginyer[70%]
2	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 05/11/08	mié 05/11/08		Enginyer[70%]
3	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 19/11/08	mié 19/11/08		
4	Establir objectius del projecte	5 horas	mié 05/11/08	vie 07/11/08	2	Enginyer[70%]
5	Definir perfils d'usuari	2 horas	vie 07/11/08	lun 10/11/08	4	Enginyer[70%]
6	Selecció de les fonts d'informació	4 horas	lun 10/11/08	mié 12/11/08	5	Enginyer[70%]
7	Avaluació de riscos	5 horas	mié 12/11/08	lun 17/11/08	6	Enginyer[70%]
8	Priorització de les tasques	4 horas	lun 17/11/08	mié 19/11/08	7	Enginyer[70%]
9	Anàlisi de costos del projecte	3 días	mié 19/11/08	lun 24/11/08	8	Enginyer[70%]
10	Conclusions	6 horas	lun 24/11/08	jue 27/11/08	9	Enginyer[70%]
11	Documentació	216,5 días	jue 27/11/08	mié 11/02/09	1	Enginyer[70%]
12	Reunió amb la tutora	0,5 horas	jue 27/11/08	jue 27/11/08		Enginyer[70%]
13	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 10/12/08	mié 10/12/08		Enginyer[70%]
14	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 07/01/09	mié 07/01/09		Enginyer[70%]
15	Reunió amb la tutora	0,5 horas	jue 22/01/09	jue 22/01/09		Enginyer[70%]
16	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 04/02/09	mié 04/02/09		Enginyer[70%]
17	Cerca de la informació	10 horas	jue 27/11/08	mié 03/12/08	12	Enginyer[70%]
18	Documentació	38 horas	jue 04/12/08	mar 30/12/08	17	Enginyer[70%]
19	Traducció	38 horas	mié 31/12/08	lun 26/01/09	18	Enginyer[70%]
20	Filtratge de l'informació	10 horas	mar 27/01/09	lun 02/02/09	19	Enginyer[70%]
21	Selecció de l'informació i les imatges més rellevants	10 horas	mar 03/02/09	lun 09/02/09	20	Enginyer[70%]
22	Consulta a docents	3 horas	mar 10/02/09	mié 11/02/09	21	Enginyer[70%]
23	Redacció	80,25 días	mié 11/02/09	mié 20/05/09	11	Enginyer[70%]
24	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 11/02/09	mié 11/02/09		Enginyer[70%]
25	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mar 17/03/09	mar 17/03/09		Enginyer[70%]
26	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 01/04/09	mié 01/04/09		Enginyer[70%]
27	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 15/04/09	mié 15/04/09		Enginyer[70%]
28	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 29/04/09	mié 29/04/09		Enginyer[70%]
29	Reunió amb la tutora	0,5 horas	mié 13/05/09	mié 13/05/09		Enginyer[70%]
30	Redacció de l'apartat de radiofreqüències	30 horas	mié 11/02/09	mié 04/03/09	24	Enginyer[70%]
31	Redacció de l'apartat de radiofreqüènciaID	30 horas	mié 04/03/09	mié 25/03/09	30	Enginyer[70%]
32	Redacció de Tecnologia ZigBee	30 horas	mié 25/03/09	mié 15/04/09	31	Enginyer[70%]
33	Redacció de la detecció de senyals a temps real a través d'imatges	50 horas	mié 15/04/09	mié 20/05/09	32	Enginyer[70%]
34	Implementació	108 días	mié 20/05/09	vie 26/06/09	23	Enginyer[70%]
35	Reunió amb la tutora	1 hora	mié 20/05/09	jue 21/05/09		Enginyer[70%]
36	Reunió amb la tutora	1 hora	lun 22/06/09	lun 22/06/09		Enginyer[70%]
37	Anàlisi del kit	5 horas	jue 21/05/09	lun 25/05/09	35	Enginyer[70%]
38	Anàlisi del codi demo	10 horas	lun 25/05/09	lun 01/06/09	37	Enginyer[70%]
39	Desmembrament del codi demo	5 horas	lun 01/06/09	jue 04/06/09	38	Enginyer[70%]
40	Codificació de l'aplicació	33 horas	jue 04/06/09	vie 26/06/09	39	Enginyer[70%]
41	Confecció de la memòria	335 horas	mié 05/11/08	vie 26/06/09		Enginyer[30%]

Fig. 1.a: Tasques que es duran a terme.

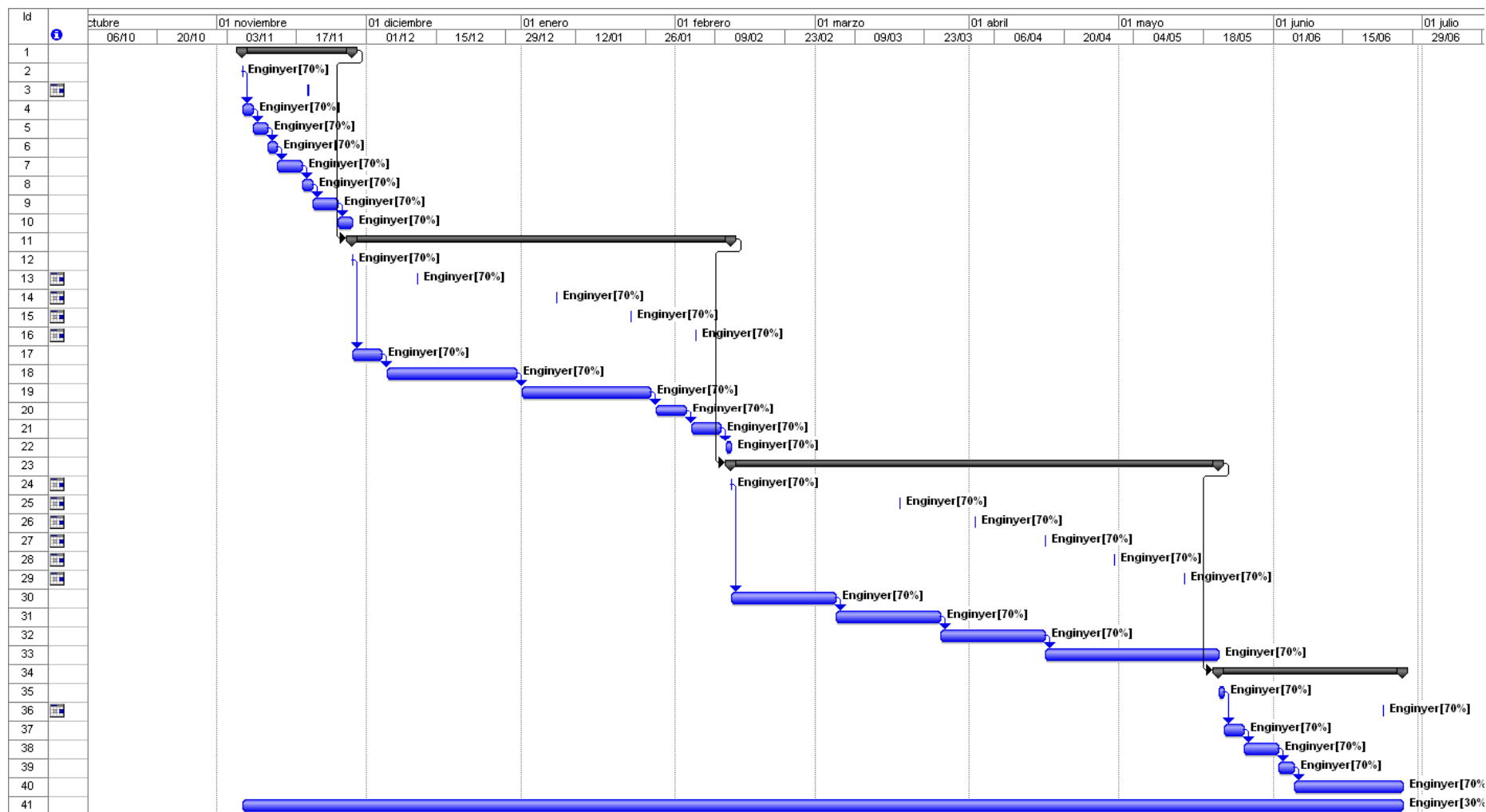


Fig. 1.b: Diagrama de Gantt.

2.9.- Anàlisi de costos/beneficis

Per materialitzar el projecte en qüestió, no es necessitarà un pressupost massa elevat. Dur-lo a terme significarà un total de 280 – 300 hores aproximadament. Si es té en compte que per a implementar-lo es treballaran 7 mesos, surt un promig d'unes 40h al més. Aquestes es repartiran en base d'unes 10h cada setmana. Per tant, si el sou de l'enginyer que porti a terme el projecte és de 15€/h (sou de becari), s'hauran d'invertir uns 4200€ en concepte de recursos humans.

Per materialitzar el projecte es necessitaran els següents recursos:

Software: Sistema operatiu, processador de textos, planificador de tasques.

Hardware: Kit de desenvolupament.

Recursos Humans: Enginyer responsable del projecte.

Que tindran els següents costos:

Software: La universitat disposa de tot el software necessari, per tant tindrà cost zero.

Hardware: El kit de desenvolupament té un cost de 49\$, que en euros en són 94€ (49\$ a 1.93€ el dollar USA).

Recursos Humans: Enginyer becari que cobra 15€/h, durant unes 280 – 300 hores surt un total d'uns 4200€.

Per tant, el pressupost quedarà de la següent manera:

<i>Recurs</i>	<i>Preu</i>
Hardware	94€
Software	0€
Rec. Humans:	4200€
Total:	4294€

2.10.- Conclusions Estudi de Viabilitat

Una vegada analitzats els possibles conflictes, problemes o dificultats que poden sorgir a l'hora de desenvolupar el sistema en qüestió, cal remarcar que les conclusions extretes són positives. Com s'ha pogut comprovar, la línia que obre aquest projecte fa que tirar-lo endavant sigui un fet molt interessant, doncs a la carretera hi ha molts morts cada any i col·laborar en evitar-ho resulta un fet que, si més no, es pot considerar gratificant.

A aquesta qüestió humana, s'han d'afegir els coneixements necessaris que la persona que dugui a terme el projecte ha de tenir. Aquests són, bàsicament, cert domini de llenguatges de programació (com el C o el java), doncs serà necessari saber interpretar, ampliar i crear funcions per tal que els dispositius puguin complir l'objectiu.

Igualment, és necessari disposar d'uns recursos força concrets. El món de la radiofreqüència està en plena evolució i expansió, per tant, triar un component adient que alhora permeti una fàcil programació, fa que la tasca de triar el hardware adequat sigui un punt força important a l'hora de dur a terme un bon projecte.

Si es parteix de la base que la universitat ha facilitat un hardware per implementar el sistema i que els avantatges que pot generar són considerables, s'ha de dir que el projecte esdevé viable.

Capítol 3: Radiofreqüència i radiofreqüència amb identificador

3.1.- Introducció

L'ús de les noves tecnologies basades en Radiofreqüència ha d'esdevenir un aspecte clau en el disseny de futurs automòbils, a l'hora de desenvolupar sistemes de seguretat. És per això que quantes més alternatives es tinguin a l'hora d'evitar accidents, més fàcil serà poder alertar al conductor a temps d'un possible contratemps i, conseqüentment, evitar un accident.

Com es mostra a la figura 2, el que es vol presentar seguidament, és un sistema de detecció i alerta visual de senyals fent servir la tecnologia de la radiofreqüència.



Fig. 2: Exemple del funcionament del sistema.

La idea necessita l'ús de tags¹, lectors, i una interfície capaç de traduir el missatge dels tags rebuts pel lector.

(1) Tag: Petits dispositius emissors de senyals a través d'ones de radiofreqüència que seran llegides posteriorment per un lector.

El sistema funcionaria de la següent manera:

En primer lloc, cal tenir un tag, com podria ser el de la figura 3 amb un codi concret per a cada model de senyal.

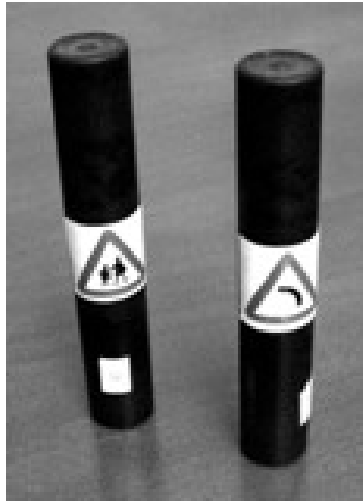


Fig. 3: Exemple de possible tag RFID.

El que es vol fer és col·locar els tags codificats al costat del senyal corresponent o a les immediacions d'aquest, de tal manera que emetin un senyal llegible a prou distància i que permetin al conductor poder reaccionar a temps. Aquests tags els llegiran uns lectors situats al cotxe. S'han de tenir en compte paràmetres com la distància a la que comença la comunicació i el temps que triga a establir-se. En cas que els tags i els lectors només puguin comunicar-se a poca distància el sistema no serà òptim, doncs el conductor rebrà tard la informació i no podrà reaccionar. Igualment, si la comunicació entre lector i tag triga una distància considerable probablement també farà que el sistema no respongui de la manera esperada. S'ha de tenir en compte que cotxe i senyal es creuen durant instants de temps inferiors a un segon, per tant, en menys que aquest temps s'ha d'establir i confirmar la comunicació, i enviar i rebre les dades. Una vegada les dades ja s'han transmès i han arribat al lector, aquest el que ha de fer és analitzar-les i mostrar-les per pantalla.

La idea és que el lector rebi un codi concret en funció del senyal amb la que s'hagi creat.

Per exemple, un senyal de stop podria estar codificada amb els bits 00110011. El que faria el tag, seria enviar aquest codi al lector.

El lector, rebut el codi, l'analitzaria. Una vegada analitzat, el lector veuria que és un senyal d'stop i faria aparèixer, al panell de control del vehicle, aquest senyal. Val a dir que els dispositius han de poder emetre un número de bits que puguin representar tot el ventall de senyals amb els que ens podem trobar.

A la figura 4 es mostra un exemple de codificació de quatre senyals de trànsit.





Senyal	Codi	Senyal	Codi
	00110011		00111111
	00111100		00110000

Fig. 4: Exemple de possibles codificacions per una mostra de senyals.

La comunicació entre el lector i l'ordinador del vehicle es pot efectuar de diferents maneres, en funció del tipus de lector i els protocols permesos. Quan l'ordinador sàpiga de quin senyal es tracta, el mostrarà per pantalla de la manera més clara possible. En el nostre cas, s'ha creat un entorn gràfic (figura 5) que reproduïx de la manera més fidel possible els colors i formes dels senyals. Val a dir també, que com que un lector pot llegir més d'un tag alhora, és possible mostrar més d'un únic senyal per pantalla.



Fig. 5: Mostra d'un senyal i la sortida que es veurà des del vehicle.

Cal remarcar que tot el procés que va des de començar la comunicació entre tag i lector fins a mostrar el senyal per pantalla s'ha de fer abans de que el conductor arribi a la vertical del senyal². A més d'això, cal tenir en compte que com que el senyal té efecte a partir de la seva vertical, quan el vehicle arribi a l'altura del senyal ho ha de fer obeint el que aquest diu. Per tant s'ha de donar una distància suficient perquè el conductor pugui reaccionar.

El sistema basat en radiofreqüència té com a diferència principal, respecte el d'imatges rebudes a temps real (s'analitzarà posteriorment), que està molt menys limitat per factors externs a l'hora d'analitzar i buscar en l'entorn senyals de trànsit.

És així, degut a que la transmissió es fa mitjançant ones de radiofreqüència que no necessiten que hi hagi contacte visual entre emissor i receptor, per tant, no afectaran al sistema agents climatològics adversos, alteracions en les formes dels senyals o objectes que els puguin confondre.

A l'establir comunicació per mitjà de radiofreqüènciaID, s'han de tenir en compte altres paràmetres. Cal contemplar, per exemple, la velocitat de pas del vehicle pel costat del senyal. Això vol dir que en un temps molt breu, el lector ha de ser capaç de contactar amb el tag, llegir-lo, comunicar, i processar la informació que li envia.

Aquest és un punt bàsic a l'hora de triar els components a fer servir, doncs si no són capaços de detectar i emetre el missatge en uns instants molt breus, el sistema no complirà amb els requeriments essencials. Igualment, cal tenir en compte un altre punt important com és el de la distància.

El sistema de radiofreqüènciaID ha de ser capaç d'emetre a distàncies relativament llargues. En la conducció, qualsevol cosa, per petita que sigui, passa en un instant de temps molt breu. Per això és tan important, quan es condueix, prevenir els possibles perills o obstacles que es puguin trobar. En el cas que ens ocupa, és important que es mostri per pantalla la informació requerida abans que el senyal arribi a l'altura del vehicle.

Com ja s'ha dit, el codi de circulació diu que s'ha d'obeir el senyal des de que el vehicle es creua amb la vertical d'aquest. Per tant, el sistema ha de mostrar el senyal al conductor amb un temps suficient com perquè aquest tingui temps d'actuar.

Per fer-ho, es poden seguir dos criteris.

- Es poden posar tag i senyal situats independentment. Si es col·loca el dispositiu de radiofreqüènciaID uns metres abans del senyal respecte la direcció dels vehicles (figura 6), la distància d'emissió pot ser més curta, doncs es disposarà d'un marge entre el tag i el senyal que permetrà operar amb les dades emeses amb temps suficient abans d'arribar al senyal.

(2) Article 150 del codi de circulació, "Objeto, clases y normas comunes", secció 4: Las obligaciones, limitaciones o prohibiciones especiales establecidas por las señales de reglamentación regirán a partir de la sección transversal donde estén colocadas dichas señales, salvo que mediante un panel complementario colocado debajo de ellas se indique la distancia a la sección donde empiecen a regir las citadas señales.

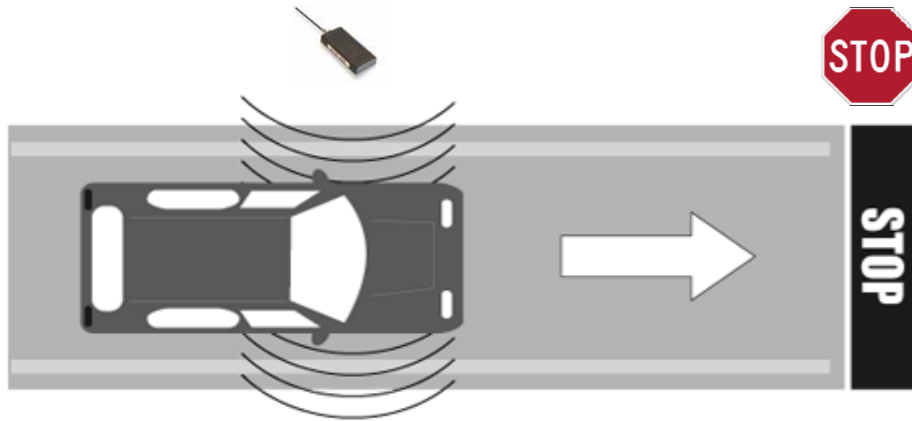


Fig. 6: Exemple d'emissor amb tag emetent, situat a una distància del senyal.

- Un altre mètode és posar, enganxat al senyal, tags que emetin a molta distància. D'aquesta manera, el lector rebrà el senyal amb suficient antelació com per mostrar-lo al conductor i que aquest pugui reaccionar de la manera més oportuna. No obstant, aquest sistema resultarà força car degut a que els tags hauran de transmetre a una distància més llarga. Un exemple del sistema es mostra a la figura 7.

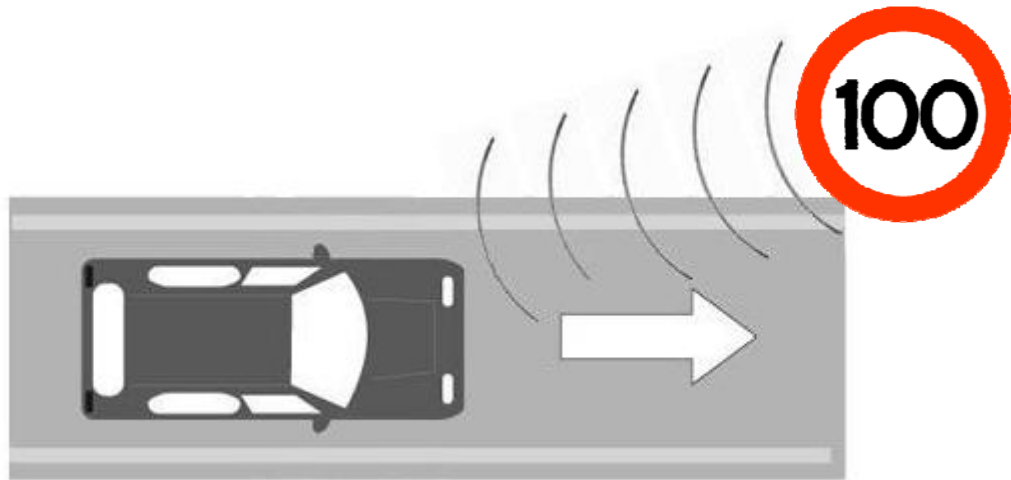


Fig. 7: Exemple d'emissor amb tag emetent des de l'altura del senyal.

Val a dir que tan si els tags es posen al senyal com si es situen a una distància d'aquest, se'ls haurà de buscar protectors dels agents ambientals i fonts d'energia, a poder ser renovable. Pel que fa a la qüestió de la font d'energia, existeixen al mercat plaques solars compatibles amb alguns dels models de tags a emprar. Cal comprovar que les característiques elèctriques siguin les mateixes i que el tag disposi de la circuiteria adient per a la connexió.

Pel que fa a la protecció dels agents meteorològics, els tags han d'estar recoberts de materials aïllants. Aquests no poden ser metàl·lics, doncs els tags emeten ones de radiofreqüència que poden ser alterades pels components metàl·lics. Per tant, se'ls haurà de buscar un material que els permeti estar a la intempèrie. Goma, neoprè, cautxú, plàstic, etc poden ser

bons candidats. Igualment, són varis els llocs on posar els tags. Si per exemple van situats a l'asfalt, es podrà fer una selecció més concreta de quins senyals mostrar per pantalla en funció de la direcció a prendre. Això què vol dir? Són molts els casos en què, per exemple, circulant per un carril d'una autopista, aquest passa a ser una sortida de la carretera. Per tant, aquest carril estarà senyalitzat amb uns senyals concrets, que no fa falta que vegin els vehicles que circulen pels carrils del costat, als que no afecta la senyalització per abandonar la via. Un altre exemple podria ser els carrils de desacceleració. Quan entres a un carril d'aquests la velocitat s'ha de reduir i, per tant, s'han de mostrar els avisos corresponents. Aquests senyals només han de ser rebuts pels vehicles que circulen pel carril en qüestió. Si els tags estan situats a l'asfalt (figura 8), i només emeten a una distància igual a l'amplada del carril, la informació només arribarà als vehicles concrets que la necessitin rebre. Evidentment, els costos per manteniment es disparen en aquest cas, degut a les complexes obres d'instal·lació que s'han de dur a terme.



Fig. 8: Exemple de tag situat a l'asfalt.

3.2.- Radiofreqüència

3.2.1.- Introducció

L'espectre radioelèctric (radiofreqüència, ones de radio o RF) és el conjunt d'ones electromagnètiques amb freqüències compreses entre 3Hz i 300GHz que transmeten dades entre un emissor i un receptor. Fan servir l'aire i la dispersió d'ones electromagnètiques de ràdio per a comunicar informació entre un dispositiu emissor i un de receptor, que empren una mateixa freqüència a l'hora de crear un enllaç entre ells. La radiació electromagnètica, (o ones electromagnètiques) són ones que es propaguen a l'espai amb un component elèctric i un component magnètic. Les ones de radiofreqüència es desplacen per l'espai lliure en línia recta. Les ones, a través de l'espai lliure pateixen canvis en l'amplitud, fase i polarització degut al clima, lloc geogràfic de situació o obstacles físics que el senyal ha de travessar.

Una de les aplicacions que més ressò ha tingut en els últims temps, pel que fa a usos de la radiofreqüència, és la tecnologia d'Internet sense fils. Durant molts anys, en la comunicació entre departaments de les empreses s'han fet servir dispositius de captura i transmissió

anomenats terminals els quals estaven units per mitjà de cable a un ordinador central per poder-s'hi comunicar. Degut a la limitació en la longitud de cable, i la dificultat de cablejar zones de difícil accés, va ser necessari buscar una tecnologia que permetés comunicar dispositius, sense la necessitat de que existís un enllaç via cable entre ells, i que ho fessin a temps real. D'aquesta necessitat, van néixer les tecnologies sense fils. Aquestes tecnologies sense fils només són possibles si es fan servir sistemes de radiofreqüència, els quals fan servir l'aire com a medi de comunicació, enlloc dels cables. Tot seguit s'explicarà, en funció del medi amb el que viatgen les ones, els diferents efectes que aquestes poden patir.

3.2.2.- Efectes de les ones de radiofreqüència

Es diu que hi ha "línia de vista" quan no existeixen obstacles entre emissor i receptor en una ruta directa. Si aquest fet no succeeix i, per tant, hi ha obstacles entre emissor i receptor, aleshores es parla de transmissions multiruta. En casos com aquest, el senyal pateix efectes com difracció, reflexió, refracció i dispersió, els quals provoquen que la comunicació entre emissor i receptor es faci per mitjà de diferents trajectòries.

A) Difracció

Succeeix quan el senyal canvia de direcció degut a l'impacte amb el costat d'un obstacle (figura 9).

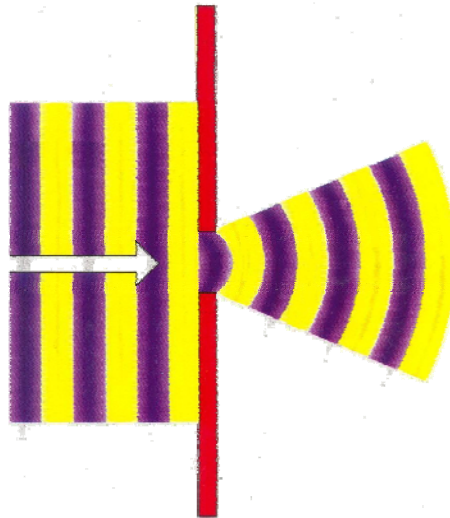


Fig. 9: Exemple de difracció d'una ona.

B) Refracció

Succeeix quan el senyal canvia de direcció degut a que passa d'un medi a un altre de diferent. Perquè hi hagi efecte de refracció, entre els dos medis hi ha d'haver un índex de refracció diferent (figura 10).

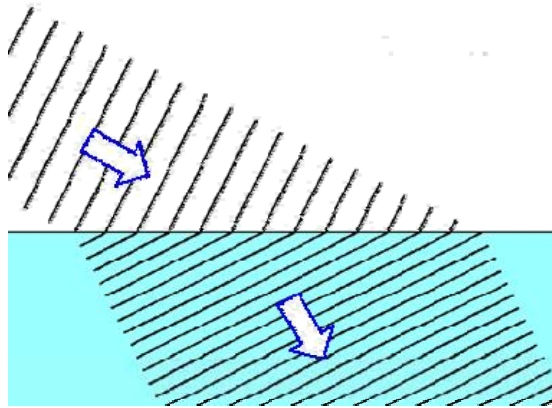


Fig. 10: Exemple de refracció d'una ona.

C) Reflexió

La reflexió d'un senyal es dona quan el senyal impacta contra un objecte de dimensions molt majors a les de la longitud d'ona, fet que provoca que un percentatge sigui transmès i un altre sigui reflectit. En el cas de conductors perfectes, la reflexió és total. És a dir, no es refracta senyal i les pèrdues són menors (figura 11).

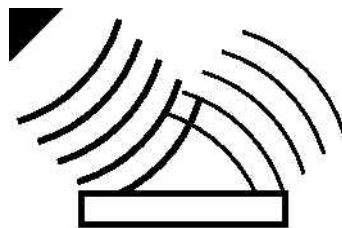


Fig. 11: Exemple de reflexió d'una ona.

D) Dispersió

La dispersió succeeix quan el senyal impacta contra objectes de petites dimensions, però nombrosos entre sí (com podrien ser arbres, etc.). Al xocar el senyal, aquest es reflecta en varies direccions i pot ser que provoqui un canvi de freqüència i polarització de la ona electro-magnètica. La dispersió només succeeix quan la superfície contra la que impacta el senyal és rugosa. Si impacta contra una superfície llisa, el fenomen que succeeix és la reflexió.

El millor exemple gràfic de l'efecte de dispersió el trobem en la descomposició de la llum, és dir, quan un feix de llum xoca contra un prisma de vidre, aquesta es descompon en els seus components (figura 12).

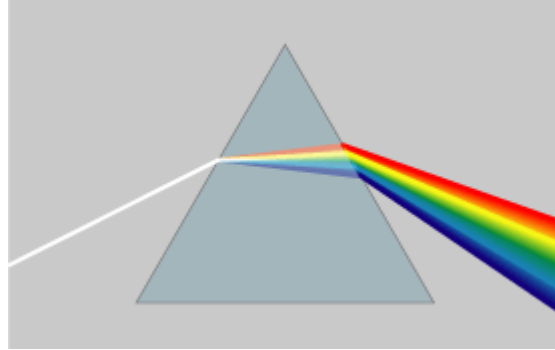


Fig. 12: Exemple de dispersió d'un feix lluminós.

A més dels efectes ja mencionats, trobem que les ones també poden patir l'efecte de la interferència de símbols. Això succeeix quan un símbol anterior al que s'està rebent interfereix degut a una o més reflexions. El retard es deu a que la distància recorreguda per la ona reflectida és major que la distància recorreguda per la ona transmesa.

3.2.3.- Antenes de radiofreqüència

Una antena és un sistema conductor metàl·lic capaç d'emetre i capturar ones electro-magnètiques. Les antenes són utilitzades com a interfície entre un dispositiu màster i l'espai lliure tant per a transmetre com per a rebre. Quan s'està transmetent, es genera un camp electromagnètic al moment d'aplicar un voltatge. En el cas de la recepció, el procés és invers; és a dir, al moment de capturar un camp electromagnètic, l'antena genera com a resposta un voltatge. El tamany de les antenes és molt important. Aquest està relacionat amb la longitud d'ona del senyal, i sol funcionar de manera que a majors freqüències, el tamany de l'antena és menor; és a dir, són inversament proporcionals.

A la següent figura es poden veure exemples d'antenes de radiofreqüència.



Fig. 13: Exemple d'antenes de radiofreqüència.

A) Paràmetres de les antenes

Les antenes funcionen en relació a varis paràmetres d'ús. Aquests són: *el patró de radiació, la potència radiada, l'eficiència, l'ample de banda, la directivitat, el guany, la impedància d'entrada, la resistència de radiació, l'amplada de l'espectre, i la polarització*. La definició d'alguns d'aquests paràmetres es pot deduir de manera intuïtiva. No obstant, n'hi ha que depenen de models matemàtics que no s'analitzaran, doncs no està dins dels objectius d'aquest projecte saber, tan profundament, la modelització d'aquests aparells.

B) Classificació de les antenes

Les antenes estan unides en varis grups principals en funció de la seva fabricació, que són: *lineals, de llaç, helicoïdals, d'obertura, de pedaç o microstrip, de reflexió etc*. Igual que en el punt anterior, analitzar profundament aquesta classificació no és de l'abast dels objectius del projecte. Per tant, solament es mencionaran els diferents grups, però s'analitzaran en profunditat.

3.3.- Identificador per Radiofreqüència (RFID)

3.3.1.- Què és la radiofreqüènciaID?

Els sistemes d'identificació per Radiofreqüència o RFID, són una nova tecnologia per a la identificació d'objectes a distància sense necessitat de contacte (ni tan sols visual). És un sistema remot d'emmagatzematge i recuperació de dades que fa servir dispositius anomenats etiquetes (o TAGS), com els que poden veure a la figura següent.

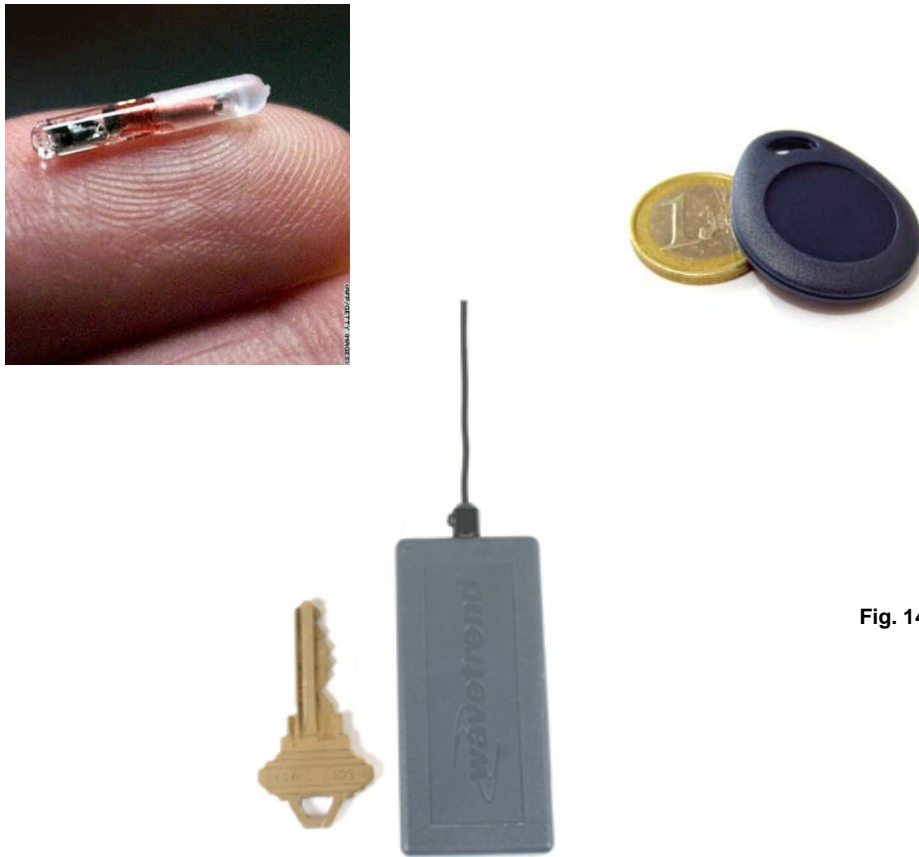


Fig. 14: Exemple de diferents tags actius i passius.

Aquesta tecnologia té per propòsit general el transmetre la identitat d'un objecte (per exemple un nº de producte únic) a través d'ones de ràdio. És una tecnologia d'identificació automàtica similar, en quant a l'aplicació, a la tecnologia del codi de barres, doncs dona a cada objecte un codi propi que és llegit per una màquina. No obstant, la diferència és que RFID empra un senyal de radiofreqüència enlloc d'un senyal òptic.

3.3.2.- Breu història de la RFID

L'origen de la RFID es troba, lamentablement, relacionat amb la guerra, concretament amb la segona guerra mundial, on l'ús del radar permetia la detecció d'avions a kilòmetres de distància, però no permetia la seva identificació. L'exèrcit alemany va descobrir que si quan

tornaven a la base els pilots feien moviments verticals, el senyal de ràdio que es rebia canviava. Aquest mètode, doncs, feia distingir els avions alemanys dels aliats, i es va convertir en el primer sistema de RFID.

Els sistemes de radar i de comunicacions per radiofreqüència van avançar durant les dècades dels 50 i 60, fruit del treball que els científics dels països més avançats realitzaven per explicar com identificar objectes remotament. Les empreses, aviat van afegir-s'hi i van començar a treballar-hi creant sistemes per evitar furtus que, fent servir ones de ràdio, determinaven si un objecte s'havia pagat o no, al sortir d'una botiga. Es feia servir una codificació en la que un únic bit decidia si l'objecte s'estava robant, o si s'havia pagat per adquirir-lo, fet que feia saltar l'alarma en cas d'intent de robatori. Però no va ser fins al 1973 quan es va presentar una etiqueta RFID amb memòria reescriptible i, seguidament, es va presentar una patent per un sistema RFID que permetia obrir les portes sense necessitat de claus. El sistema es basava en una targeta amb un tag que comunicava un senyal al lector de la porta. Aquest, quan validava la targeta, desbloquejava el pany. A partir d'aquesta presentació, l'ús de la tecnologia RFID va anar agafant protagonisme i es va començar a aplicar en l'àmbit industrial i ramader (s'introdueixen etiquetes sota la pell dels animals vacunats per diferenciar-los dels que no ho estaven). Des d'aleshores, s'han millorat les capacitats d'emissió i recepció, la distància, etc. fet que ha portat a estendre l'ús en molts àmbits com poden ser l'ús domèstic, en seguretat, mètodes d'identificació, etc.

3.3.3.- Com funciona la RFID?

Els tags i els lectors treballen junts i, sovint, de manera automàtica, per a proporcionar a l'usuari una comunicació que no requereix de línia visual ni de contacte per identificar persones, animals o objectes.

El lector de RFID realitza varies funcions, una de les quals és emetre un senyal de radiofreqüència de baixa potència per crear un camp electromagnètic. El camp electromagnètic és emès i propagat per mitjà d'una antena que, sovint, està enrotllada en forma d'espiral o bobina. Aquest camp electromagnètic sol ser, a més del portador del missatge, l'encarregat de subministrar energia al receptor (o tag) que estigui dins el rang d'emissió. D'aquesta manera, el tag receptor emet fent servir l'energia rebuda del lector.

El funcionament del mòdul RFID està diferenciat per dos processos, un primer de càrrega en el que els tags emmagatzemen l'energia, i un altre d'emissió en el que cada tag envia la informació fent servir l'energia emmagatzemada en el pas anterior. Mentre el tag està carregant energia, no emet cap senyal. Això ho farà quan hagi acabat el procés de càrrega. Aquests processos es poden programar i modificar en funció del tipus de lector emprat. D'aquesta manera, els processos de càrrega i lectura poden variar dins uns petits marges.

Quan un tag s'introdueix al camp electromagnètic produït per un mòdul de RFID, l'energia captada permet que el circuit integrat del tag funcioni i, per tant, les dades contingudes a la memòria es transmeten. El senyal provinent del tag, és recuperat per l'antena receptora del lector, i es converteix en senyal elèctric. El lector té un sistema de recepció dissenyat per de-

tectar i processar el senyal elèctric provinent del tag, desmodulant les dades originals emmagatzemades a la memòria del circuit integrat contingut dins el tag. Quan les dades del tag han estat desmodulades, el mòdul digital comprova que les dades rebudes són correctes. El lector fa servir informació continguda al codi transmès pel tag per executar el procés de validació. Quan el lector ha verificat que no hi ha errors i valida la informació rebuda, les dades són descodificades i reestructurades per la seva transmissió com informació amb el format requerit pel sistema al que estigui connectat el lector.

- **Middleware o interfície de comunicació**

El middleware, o interfície de comunicació és, com indica el seu nom, un software que té com a funció gestionar el sistema RFID. Quan el hardware rep el senyal de tots els tags el middleware filtra la informació per, tan sols, transmetre informació útil als sistemes que gestionaran la informació. És una plataforma que permet a l'usuari interactuar amb els sensors i programar la tasca que han de dur a terme. Pot ser un software específic dissenyat expressament per una aplicació concreta i que l'única cosa que faci sigui transmetre la informació recollida pels lectors a l'aplicació corresponent. El middleware es podria definir com un filtre que gestiona la informació rebuda pels tags i la deixa a punt per ser tractada per les aplicacions de cada usuari.

A la figura 15, es pot veure un exemple de la interfície emprada per realitzar el projecte.

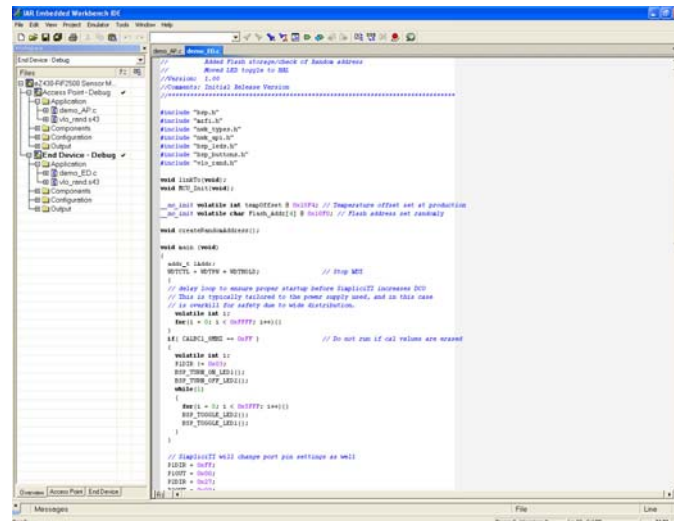


Fig. 15: Exemple de la interfície feta servir pel desenvolupament de la part pràctica.

3.3.4.- Freqüències de treball

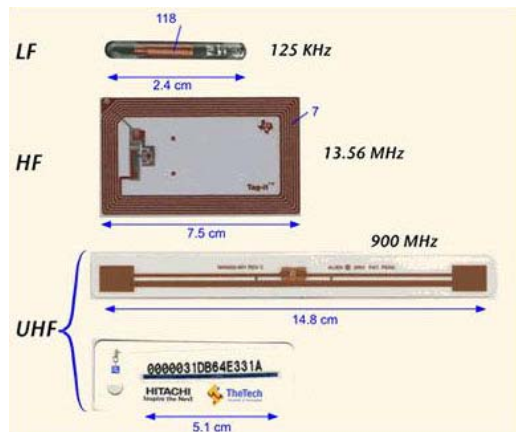
Val la pena començar dient que no hi ha cap estàndard únic i mundial que reguli les freqüències d'emissió dels dispositius de RFID. És cada país, en funció de les lleis locals, el que decideix sota quins rangs poden emetre els dispositius que comercialitza. Per aquest motiu, trobem que hi ha varis rangs d'emissió en funció del tipus d'etiquetes.

Els sistemes de radiofreqüència fan servir varies bandes de treball per comunicar-se. Les més comuns són les de baixa freqüència (LF), que emeten entre els 125 i els 134 KHz i alta freqüència (HF), que emeten al voltant dels 13,5MHz. A diferència de la UltraAltaFreqüència (UHF), que emeten entre 860 i 960 MHz, i que al no tenir un estàndard global d'ús no pot utilitzada sense permisos legals previs. Les freqüències Baixa i Alta si que poden ser utilitzades lliurement. A més, cal tenir en compte que hi ha varis tipus diferents de dispositius que fan servir emissions en UHF. Aquest fet pot generar problemes de sorolls sobre els sistemes RFID (i viceversa). És per aquest motiu que s'ha de treballar per esbrinar possibles conseqüències en l'emissió a aquestes freqüències i, també, minimitzar els trastorns que puguin ocórrer com a conseqüència de canviar les bandes de treball.

Els xips BF (freqüència inferior a 135KHz), treballen amb una distància de lectura d'uns quants centímetres. Els xips HF (freqüència de 13,5 MHz), tenen una lectura d'algunes desenes de centímetres. La majoria de xips passius fan servir aquesta banda de freqüència. Els xips UHF (freqüència de 860MHz a 950MHz) emeten a una distància aproximada de l'ordre d'un metre. Per emetre amb ordre de llarga distància, s'empren freqüències de microones (en el cas de ZigBee, 2,4GHz).

A la figura següent, es poden veure diferents tags que empren diferents tecnologies de transmissió.

Fig. 16: Exemple de diferents tags en funció de la freqüència d'ús.



En funció de la freqüència d'emissió, les ones de ràdio es comporten d'una manera o una altra. Per tant, és important triar quina és la millor freqüència en funció de l'ús que se'n vulgui donar.

Depenent de les freqüències emprades als sistemes RFID, el cost, la llargada i les aplicacions necessitaran treballar en freqüències concretes. Els sistemes que utilitzen freqüències baixes tenen costos baixos, però també emeten a una distància menor. Els que fan servir freqüències altes disposen de major distància i velocitat de comunicació. D'aquesta manera, els sistemes de freqüències baixes són apropiats, per exemple, per codificar animals, sistemes antirobatori, claus de cotxe, etc. A diferència d'aquests, els sistemes de freqüències més elevades es poden fer servir per fer seguiment de mercaderies, controls d'accés, sistemes de localització, etc.

A l'hora de triar la freqüència d'ús, també serà necessari veure sobre quins materials s'ha de treballar, doncs els líquids, els metalls o l'entorn poden afectar les ones de radiofreqüència, fent-los aparèixer efectes no desitjats.

3.3.5.- RFID o Codis de Barres

Els sistemes de codis de barres (figura 17) fan servir un lector i etiquetes impreses amb línies paral·leles verticals de diferent grossor, i espaiades una mida concreta que, al llegir-les conjuntament per mitjà d'un raig làser, donen un codi concret referent a un objecte. D'aquesta manera, es pot reconèixer un objecte de forma ràpida i eficaç. Per llegir informació amb aquest sistema, és necessari que entre emissor i receptor hi hagi un contacte visual i una distància determinada.

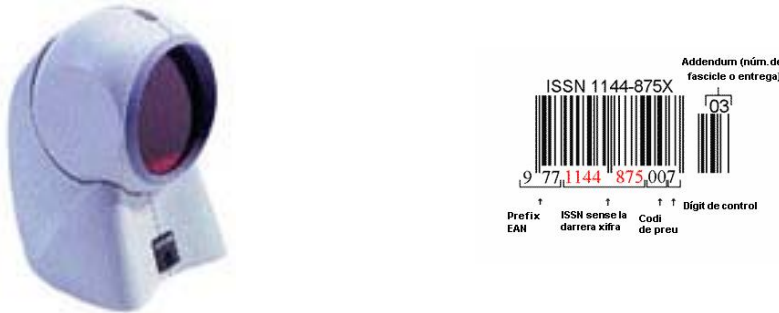


Fig. 17: Exemple de lector de codi de barres.

En canvi, els sistemes RFID fan servir un lector i una targeta especial per comunicar-se. Enlloc d'utilitzar servir un raig làser per llegir la informació de l'etiqueta barrada, RFID empra un senyal de radiofreqüència. Aquest senyal de radiofreqüència transmesa, no requereix que la targeta estigui dins del camp visual del lector, doncs els senyals de ràdio poden propagar-se fàcilment a través de materials no-metàl·lics. Per aquest motiu, la targeta RFID no té perquè estar en contacte directe amb el lector.

D'aquesta manera, la RFID té una clara avantatge respecte el codi de barres, ja que mentre el codi de barres ha de passar per davant d'una finestra de lectura, o bé ser escanejat per un lector mòbil, la RFID substitueix aquestes tècniques de lectura per tècniques electro-magnètiques d'identificació.

3.3.6.- Components d'un sistema de RFID

La idea bàsica dels sistemes de RFID és crear comunicació entre un lector i una etiqueta intel·ligent (o TAG) a través de l'aire i mitjançant una freqüència coneguda per ambdós elements. D'aquesta manera, tenim que un sistema de comunicació RFID està compost per *lectors, antenes i tags*. A partir d'aquí, el sistema es pot complementar amb elements que donin més prestacions o que afegixin i tractin la informació de manera més efectiva.

A) Lectors RFID

Un lector RFID té un concepte força senzill. Els lectors RFID són, a grans trets, productors de senyals analògics. Estan formats per una antena, components electrònics i una font d'alimentació. Els lectors funcionen produint electricitat que viatja per cable a un "ratio" determinat, i cap a una antena que produeix el mateix senyal en l'espai i a una freqüència determinada perquè altres elements l'escoltin. No només genera el senyal que es propaga a través de l'aire, sinó que alhora està escoltant el medi de tal manera que capta i interpreta la resposta dels tags. Digitalitza ones analògiques transformant-les en cadenes de bits de uns i zeros.

Cada lector es connecta a una o més antenes (el número màxim varia en funció de les característiques pròpies de cada lector), les quals fan difusió del senyal del lector a través del medi. També cal tenir en compte que hi ha lectors que directament porten l'antena integrada, i altres als que es connecta de manera externa. Igualment, hi ha molts tipus de lectors. N'hi ha que treballen amb una sola freqüència, alguns són multifreqüències, multiregionals, multiprotocols, etc. Els més complets són els que poden emetre en més d'una banda de freqüències com poden ser HF, UHF, etc. en funció de l'ús que se'ls vulgui donar.

A més a més, els lectors també es connecten a la xarxa, o a màquines que faran ús de la informació que el lector els dona. Aquestes connexions poden ser per mitjà de varis protocols en funció de les característiques pròpies de cada lector. Entre ells, figuren l'RS-232, ethernet, etc.

A la figura següent es mostren diferent tipus de lectors, que transmeten amb diferents tecnologies.



Fig. 18: Exemple de lectors RFID.

B) Antenes de RFID

Són els dispositius que permeten enviar els senyals dels lectors i llegir les ones de ràdio que emeten els tags. Com ja s'ha dit, hi ha lectors que porten l'antena integrada (es considera que l'antena forma part del lector), però també n'hi ha que l'antena se'ls ha de connectar externament. Igualment, en funció de les característiques del lector, aquest pot gestionar una o diverses antenes.

En funció de la posició i l'ancoratge, es poden diferenciar dos tipus diferents d'antenes:

- **Fixes**

Les antenes fixes, com indica el seu nom, són antenes que estan fixes a un lloc concret i es connecten als lectors mitjançant cables. Un únic lector pot gestionar varies antenes creant una zona d'interrogació i detecció de l'objecte. Un exemple (figura 19) podrien ser els panells verticals que hi ha a la majoria de les sortides de les grans superfícies.



Fig. 19: Exemple de detectors fixes de tags RFID.

- **Mòbils**

Les antenes mòbils (figura 20) es troben en lectors mòbils amb antenes integrades, o són utilitzades com a buscadors de tags per operaris especialitzats. Es pot dir que les antenes mòbils permeten mobilitat i un marge d'actuació més ampli.

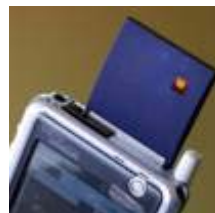


Fig. 20: Exemple de detectors mòbils de tags RFID.

C) TAGS (o transponders)

Els tags són els encarregats de comunicar amb el lector quan aquest emet i, d'aquesta manera, completar la comunicació entre lector i etiqueta.

Els tags es componen de tres parts:

- **Chip (o circuit integrat)**

És un petit ordinador que emmagatzema una sèrie d'informació. Igualment, conté i executa la lògica operacional que marca el procés a seguir per establir comunicació amb el lector. Si el tag és passiu, només haurà de complir la missió d'identificar el producte (amb un codi), però si no ho és, pot contenir més informació i, per tant, gestionar un número de bits major. És evident que a major capacitat de memòria, major preu i majors costos de producció. La figura següent mostra el detall del circuit integrat d'un xip.

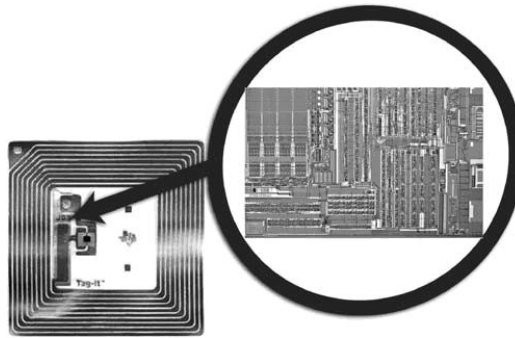


Fig. 21: Circuit integrat dins un tag.

- **Antena**

Permet al chip rebre l'energia i el missatge procedent del lector per, seguidament, emetre el seu senyal i establir la comunicació. La funció de l'antena és absorbir les ones de radiofreqüència i difondre per mitjà també de les ones, la informació continguda al xip. L'energia per activar el xip la recull de les ones de radiofreqüència rebudes.

Un factor molt important és la mida de l'antena. Aquesta mida determina el rang de lectura del tag. Lògicament, a major tamany d'antena, aquesta recull més potència i emet a major distància (emet amb més potència). A la figura mostrada, es pot veure el detall de varies antenes.

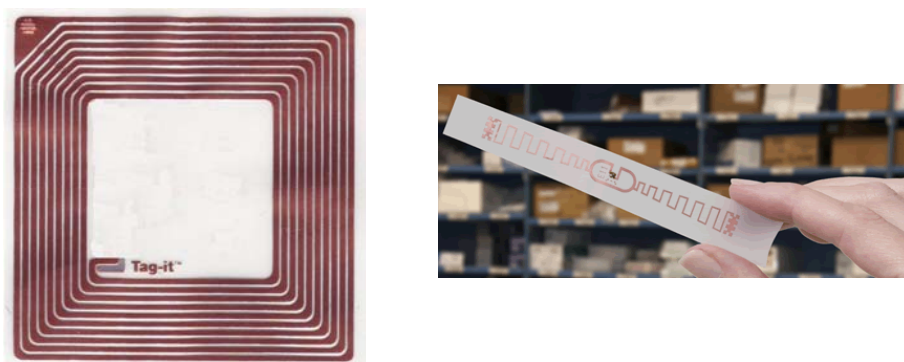


Fig. 22: Detall d'antenes de tags RFID.

- **Recobriment**

És un material protector i aïllant de l'exterior que permet protegir al sistema elèctric del xip dels agents exteriors que el puguin malmetre.

D) Classificació dels TAGS

Hi ha una gran varietat de tags i, per tant, es poden classificar de moltes maneres. Es poden classificar en funció de la font d'energia que utilitzin (actius, semiactius o passius), en funció de la seva memòria (només lectura, es pot programar una vegada però llegir moltes, es pot llegir i programar moltes vegades...), en funció dels estàndards que compleixi, el cicle de vida, la distància de lectura, etc.

Un factor clau a l'hora de triar el tipus de tag a fer servir pel sistema és, entre altres, la seva finalitat. Això vol dir que en funció de si el tag es perd o es pot reaprofitar en el sistema, l'elecció serà una o altra. Si el tag es pot recuperar una vegada utilitzat, per tornar-lo a introduir al inici del procés, el preu del tag no serà tan important com en un cas en el que el tag, un cop està finalitzat el procés, es perdi. Normalment, en els casos en els que el preu del tag no importa, prenen més valor paràmetres com els costos en infraestructura que els propis costos del tag. Ara bé, en els casos en què el tag es perd al final del seu procés d'ús, el preu a pagar per cada unitat de tag és un factor de decisió molt important.

En resum: Per classificar els tags, de manera universal, el més comú és fer-ho en funció de la procedència de la font d'energia.

Seguint aquest criteri, trobem que tenim tres tipus de tags: Actius, passius i semiactius.

- **Actius**

Els tags actius es caracteritzen per tenir la seva pròpia font d'energia provinent d'una bateria. Amb aquesta energia, s'activa la circuiteria del microxip i s'envia el senyal corresponent a l'antena. Al tenir font d'energia pròpia, permeten una cobertura més àmplia (més distància d'emissió). Igualment, els tags actius també solen disposar de més espai d'emmagatzemament i, fins i tot, poden tenir memòria pròpia. Així, a més del codi d'identificació, poden transmetre altres dades com podrien ser registres d'informació, situació, processos executats, etc. L'etiqueta compta amb una capacitat de memòria a la que es pot escriure, llegir, programar i eliminar informació. També poden incorporar sensors addicionals fora de la pròpia memòria. Per exemple, se'ls poden acoblar sensors de temperatura, velocitat, moviment... I, d'aquesta manera, controlar i emmagatzemar dades de les aplicacions. Aquests tags són els més cars del mercat degut a la gran quantitat de prestacions que ofereixen. Entre els molts usos que es poden donar a aquest tipus de tags, trobem els de detectors (o avisadors), i els de balisa.

El sistema de pagament automàtic als peatges, o qualsevol sistema basat en l'obertura de portes de seguretat, etc. fa servir aquesta tecnologia com a detector.

En canvi, si es dissenya un sistema de localització en temps real, l'etiqueta llançarà un senyal cada cert interval de temps buscant un lector per, una vegada trobat, identificar el lloc del que prové el senyal.

En aquesta figura es pot veure un exemple de tag actiu.



Fig. 23: Detall de tag actiu que transmet a 433MHz.

- **Passius**

Són etiquetes de només lectura, en les que el fabricant hi ha imprès un codi d'identificació únic, i en les que no es pot ni afegir ni modificar cap camp. Els usuaris només poden llegir el número de sèrie inscrit al xip. Són els més econòmics i simples dels tres tipus, però també els que tenen un rang de comunicació menor. No requereixen font d'alimentació pròpia degut a que tota l'energia que utilitzen es recull del camp electromagnètic generat pel lector. Degut a això, el senyal de resposta té un temps de vida força curt i el seu radi de transmissió està, també, força limitat. Ara bé, tenen l'avantatge de ser força més petits que els tags actius. Aquests tags són els més fets servir, doncs tenen la millor relació qualitat-preu (figura 24).



Fig. 24: Detall de tag passiu que transmet a 13,56MHz.

- **Semi-Actius**

Aquests tags fan servir tecnologia dels tags actius i també dels passius. Són una barreja d'ambdós. Això és així degut a que tenen una bateria que fan servir per activar la circuïteria del xip (tags actius), però alhora l'energia emprada per establir comunicació l'agafen de les ones de ràdio emeses pel lector (tags passius). El fet que el microxip disposi de font d'alimentació pròpia, fa que el microxip pugui estar sempre en funcionament. Igualment, una conseqüència d'aquest fet és que les antenes poden emprar l'energia simplement en la comunicació, doncs el microxip disposa d'energia provinent d'una altra font. Aquests tags són més cars que els passius, però també aconseguixen millors rangs de comunicació. Igual que als actius, se'ls poden integrar sensors de temperatura, moviment, etc. per proporcionar més funcionalitats.

3.3.7.- Classificació de les etiquetes en funció de la memòria

Per poder diferenciar les etiquetes segons el tipus de memòria que tenen, s'han creat diverses classes per poder-les ordenar. Són les següents:

- **Classe 0:** Només de lectura
- **Classe 1:** S'escriu una vegada, però es pot llegir tantes com vulgui
- **Classe 2:** Tags de lectura i escriptura
- **Classe 3:** Tags de lectura i escriptura amb font d'alimentació pròpia que proporciona un increment en el rang, i tenen funcionalitats avançades.
- **Classe 4:** Tags de lectura i escriptura amb font d'alimentació pròpia i rang de comunicació elevat, que permet la comunicació amb altres etiquetes actives.
- **Classe 5:** Tags de lectura i escriptura amb font d'alimentació pròpia i rang de comunicació elevat, que permet la comunicació amb altres etiquetes actives i també amb etiquetes passives.

3.3.8.- Normalització

Els reptes de la normalització són considerables i necessaris, doncs és la manera de garantir la interoperativitat entre etiquetes, lectors i sistemes de tractament de les informacions i, de manera més general, el funcionament adequat del conjunt de dispositius sota unes normes comunes. D'aquesta manera, es poden distingir 4 fronts d'investigació per aconseguir-ho:

A) A nivell dels protocols d'intercanvi entre la RFID i l'entorn.

La ISO ja ha desenvolupat normes que, no obstant, encara estan lluny d'aconseguir la unanimitat.

B) A nivell de les freqüències radioelèctriques que permeten els intercanvis entre RFID i l'entorn.

En aquest aspecte, hi ha un problema respecte la banda UHF que, per cert, és la més utilitzada en transmissions RFID. El que succeeix és que les freqüències emprades a EEUU, a Europa i Japó estan reservades per a telefonia mòbil de segona generació, fet que restringeix de manera important la potència a la que es poden fer servir i, conseqüentment, l'abast. Com que aquestes xarxes no desapareixeran fins d'aquí a molts anys, serà necessari obrir negociacions internacionals per aconseguir una interoperativitat entre els sistemes americans i la resta del món.

C) A nivell de codificació dels propis objectes identificats a través de la RFID.

D) Usos de la RadiofreqüènciaID

2.3.9.- Exemples

La tecnologia RFID té una gran quantitat d'aplicacions i àmbits d'ús. La senzillesa que presenta el seu maneig, i els múltiples camps a la que pot ser aplicada, fan d'aquesta tecnologia una de les que assolirà major potencial en un futur no massa llunyà.

Actualment, les solucions en RFID estan adquirint una importància força notable en el camp del reconeixement i la identificació. Moltes són les empreses que veuen en l'ús de la RFID una manera d'estalvi de diners, recursos i temps. Cal remarcar, que tot i ser creada força temps enrere, l'ús generalitzat d'aquesta tecnologia està adquirint un paper important en els últims anys.

La tecnologia RFID s'està utilitzant pels governs en aplicacions civils i militars, en assumptes de seguretat nacional, seguiment de productes, etc. El número d'aplicacions actuals creix dia a dia, trobant per aquesta nova tecnologia, nous usos i maneres d'explotació

Exemple 1.- Logística d'empreses

Les etiquetes de RFID es poden fer servir tant per codificar productes individuals com grups de productes, a l'hora d'efectuar el desplaçament de mercaderies de diferents tamanys (figura 25). Al contrari dels codis de barres convencionals, la RFID funciona en distàncies majors i sense necessitar el contacte visual. Dit d'altra manera, no és necessari que el lector i el tag estiguin veient-se mútuament per crear comunicació. Un altre factor a tenir en compte és que un lector pot llegir varies etiquetes alhora. Aquest fet fa disminuir enormement la quantitat de temps que es trigaria a fer la codificació element a element quan arriben, per exemple, agrupats en palets. Per tant, codificar cada producte amb una etiqueta significa un estalvi de recursos a l'hora de fer un inventari. Com que es tracta d'un dispositiu de lectura de proximitat, s'elimina també l'error humà que podria provenir de descomptar-se o contar més d'una vegada un mateix producte. Instal·lant un lector a cada producte o palet i dotant la sortida i l'entrada del

magatzem d'arcs receptors, s'aconsegueix que al passar per sota de l'arc, tots els productes etiquetats quedin guardats a una base de dades.



Fig. 25: Exemple d'aplicació de RFID en l'àmbit de la logística en una empresa.

Exemple 2.-Targetes d'identificació i control d'accés

De forma similar al seguiment de productes, els lectors de proximitat poden facilitar l'accés dins d'entorns privats als usuaris que disposin de targetes codificades que els autoritzin a entrar (figura 26). Cada targeta es codifica amb un codi que, en funció dels permisos definits, permetrà que la persona propietària tingui accés a més o menys llocs d'un entorn. Aquestes targetes s'utilitzen pràcticament de la mateixa manera que les que actualment estan disponibles, però cal dir que no és necessari que la persona que vol entrar a una àrea restringida ensenyi físicament la banda magnètica (fet necessari actualment), sinó que simplement acostant-s'hi l'accés s'obrirà. Igualment, les targetes RFID poden gestionar edificis intel·ligents controlant els llums, aires condicionats, etc. quan detecten que hi ha algú a dins. Com que cada persona que disposa d'una targeta té un identificador únic, es poden personalitzar els ambients de les diferents sales d'un edifici. Per exemple, es podria programar, pel codi concret d'un usuari, que quan aquest entri a una habitació de l'edifici soni una cançó concreta, i tingui una temperatura determinada, entre moltes altres coses.



Fig. 26: Exemple d'aplicació de RFID en el control d'accés a edificis.

Exemple 3.- Pagaments al transport

Els lectors de RFID ja es fan servir actualment per abonar peatges a les autopistes de pagament (figura 27). Per aquest cas concret, s'utilitzen tags actius. Això vol dir que els tags estan dotats de fonts d'energia pròpia i emeten solament quan reben el senyal d'activació enviat pel lector. Aquest fet permet que la distància de transmissió sigui major. Al fer servir aquesta tecnologia, quan l'usuari s'acosta al peatge no cal que redueixi la velocitat fins a parar-se, sinó que simplement aflixant la velocitat el sistema RFID detecta que el vehicle s'acosta.

Una vegada detectat, comprova que el codi pertany a un usuari concret i obre la barreira mentre registra el pas del vehicle i el posterior cobrament.

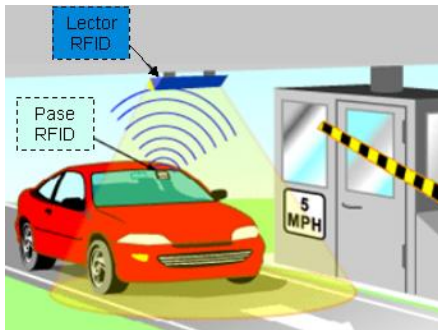


Fig. 27: Exemple d'aplicació de RFID en l'àmbit del pagament al transport.

Igualment, amb la tecnologia de radiofreqüènciaID es podria crear una forma de validar els bitllets de transport públic de manera remota (figura 28). Els usuaris que disposen d'un tag RFID se'ls compta les vegades que accedeixen a un mitjà de transport públic per mitjà de lectors instal·lats a les portes. A cada període regular de temps, es fa un recompte dels accessos fets per cada usuari al transport i es cobra en funció del trajecte i les vegades que ha accedit.



Fig. 28: Exemple d'aplicació de RFID en l'àmbit de pagament als transports públics.

Exemple 4.- Identificació d'animals o persones

Un dels altres usos que es pot donar a la RFID és la identificació d'animals o persones (figura 29). Són molts els propietaris de mascotes que han implantat etiquetes passives de RFID als seus animals. Aquestes etiquetes posseeixen un número d'identificació exclusiu per a cada animal. Quan un lector detecta una etiqueta amb un número, els camps que es poden associar a cada animal són molts, doncs depenen del tamany del xip i de la Base de Dades associada. Es podria afegir informació de l'animal (malalties patides, vacunes posades, etc.) i també informació del propietari (nom, cognoms, direcció, etc.). D'aquesta manera, quan el propietari porti l'animal al veterinari, aquest en pot consultar un historial de manera immediata. Igualment, si un animal perdut es trobés, es podria saber de manera ràpida a qui pertany, on viu, etc.

A llarg termini i sense intenció de generar un debat social de vulneració de drets humans i de la intimitat, es podrien implantar etiquetes a persones concretes.

Per exemple, gent que pateixi malalties relacionades amb el cervell (com pugui ser l'alzheimer) i que, per tant, pugui perdre's fàcilment, fa pensar que si portés un tag introduït sota la pell seria fàcilment identificable. Igualment, si s'introduïssin tags a presos potencialment perillosos se'n podria fer una busca més ràpida en cas de fuga.



Fig. 29: Exemple d'aplicació de RFID en la identificació de persones o animals.



Exemple 5.- Cronometratge en esdeveniments esportius

En curses professionals, moltes vegades hi ha el problema que la fiabilitat que el jutge té amb el cronòmetre no es correspon a una mesura 100% precisa respecte el temps real que l'atleta fa quan creua l'arc de meta, sobretot en proves de velocitat. Per aquest motiu, si s'implanta un tag a cada sabata dels atletes, es pot saber de manera molt més precisa quin ha estat el temps real enregistrat per l'esportista. El cronòmetre ha de parar quan el xip passi per sobre la línia de meta.

De manera més popular, s'ha implantat un sistema de cronometratge que podria estar implementat amb tecnologia RFID. Cada corredor disposa d'un xip que es col·loca a la sabatilla esportiva. Quan els jutges donen el tret de sortida, el cronometratge de la prova comença. Si el número de participants és elevat, entre el corredor situat a la primera fila i el que està situat a la última hi ha un desfasament de segons o minuts a l'hora de creuar l'arc de sortida que, en condicions normals, no hi hauria de ser. Aquest fet es pot solucionar. A l'arc de sortida i al d'arribada hi ha uns lectors en forma de catifa, com els de la figura mostrada a continuació. Quan l'atleta passa per sobre d'aquesta catifa detectora, s'activa un segon cronòmetre. El temps que enregistri l'atleta referent a aquest segon cronòmetre, serà el temps real que l'esportista haurà trigat a completar la prova.

Ara bé, el temps oficial sortirà del temps trigat des del tret de sortida fins que l'atleta creua l'arc de meta.



Fig. 30: Exemple d'aplicació de RFID en el Cronometratge d'esdeveniments esportius.

Exemple 6.- Control de préstec

Diverses llibreries i comerços han trobat en l'ús de la RFID una manera per a evitar que ningú s'emporti el gènere sense pagar-lo o sense control. La manera de fer-ho és enganxant una etiqueta passiva en forma d'adhesiu al producte que es vol controlar. Igualment, s'haurà d'instal·lar un lector a la sortida del local pel que passin totes les persones que es dirigeixin a l'exterior. Quan el producte passa per la caixa, es canvia un bit d'informació que farà que, al entrar dins el camp magnètic de l'arc de sortida, aquest no detecti el producte com robat. D'aquesta manera, es poden estalviar recursos contractant menys personal de seguretat.

Capítol 4: Tecnologia ZigBee

4.1.- Per què ZigBee?

A l'hora d'implementar el projecte, concretament la part de RadiofreqüènciaID, s'han utilitzat dispositius del fabricant Texas Instruments (figura 31).



Fig. 31: Detall del mòdul ZigBee emprat per desenvolupar el projecte.

S'han fet servir aquests dispositius per una raó, principalment, econòmica. Després de consultar a diverses empreses, es va poder comprovar que la majoria d'elles venien solucions ja implementades. Igualment, la majoria d'aquestes aplicacions estaven destinades a la logística i control d'estocks, fets que feien pensar en la no viabilitat d'adquirir-ne una. No obstant, es va constatar que algunes de les empreses venen kits d'iniciació, i que aquests, sí que poden ser emprats pel desenvolupament de la part del projecte corresponent a la radiofreqüència. Es va contactar amb varies empreses per a demanar informació sobre kits d'iniciació. Una d'elles en disposava d'un que venia amb un interrogador de la casa Impinj, una aplicació software de lectura i escriptura, dues antenes de lectura a una distància de 5 mts, i mostres de diferents tags RFID. No obstant, el seu preu era de 3100€. Òbviament, aquest pressupost quedava totalment fora de l'abast del projecte i, per tant, es va descartar l'adquisició del kit d'iniciació.

Al mateix temps, el departament de Microelectrònica i Sistemes Electrònics de la UAB va comprar uns sensors (els de Texas Instruments ja esmentats) que sí que podien complir amb els objectius requerits.

4.2.- Tecnologia ZigBee

ZigBee és un estàndard de comunicacions sense fils dissenyat per la “ZigBee alliance” (figura 32).



Fig 32: Logos dels protocols ZigBee i de la ZigBee alliance.

ZigBee és un conjunt de solucions regides per un estàndard que es poden implementar per qualsevol fabricant. ZigBee es basa en l'estàndard IEEE 802.15.4 de xarxes sense fil d'àrea personal i té com a objectiu les comunicacions segures amb baixa taxa de dades i la maximització de la vida útil de les bateries. D'aquesta manera es pot dir que les bateries que emprin els dispositius de la xarxa poden arribar a durar fins a 5 anys. En el cas que ens ocupa, aquest punt esdevé força important. Degut a que únicament es necessitarà enviar un codi per senyal, es pot observar que la quantitat de dades a transmetre sempre serà mínima. És per aquest fet, que fer servir tecnologia ZigBee pot donar un bon rendiment a l'hora d'implementar el projecte.

ZigBee és promoguda per la “ZigBee Alliance”, una comunitat de més de 100 companyies i primeres marques tecnològiques. Té com a objectiu habilitar xarxes sense fil i poder-les controlar de manera fiable i amb baix cost i consum energètic. Han de funcionar via ràdio i bidireccionalment, i han d'emprar un estàndard públic global que permeti a qualsevol fabricant crear productes que siguin compatibles entre ells. La figura 33 mostra possibles camps on es podria fer servir ZigBee (<http://www.ubec.com.tw/product/ZigBeeICs.html>).

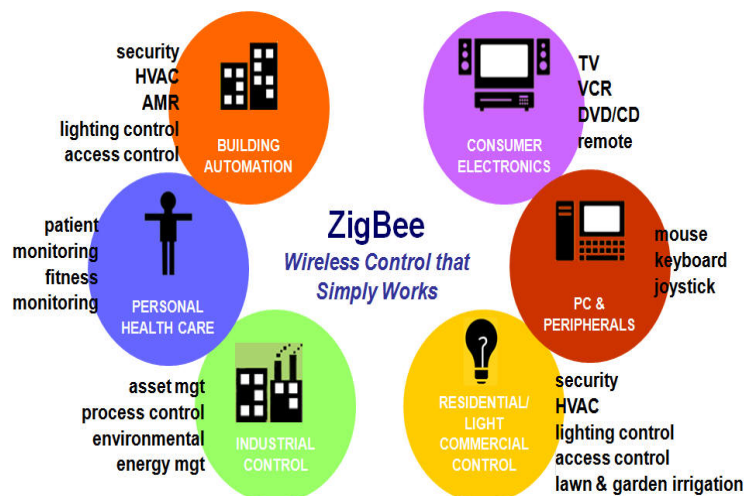


Fig. 33: Possibles aplicacions de ZigBee.

Cal remarcar que una de les característiques fonamentals de la tecnologia ZigBee és l'obtenció de costos de fabricació baixos per mitjà de la senzillesa tecnològica, i que és una tecnologia molt apropiada per a la transmissió de dades a temps real. Això ho pot fer a través de slots temporals, o a través de mètodes per evitar col·lisions en les transmissions, per exemple, el CSMA/CA.

4.3.- Estàndard IEEE 802.15.4

Com ja s'ha comentat, l'especificació ZigBee, es fonamenta en l'estàndard IEEE 802.15.4, per tant, és interessant fer-ne esment ja que és un estàndard específic per a connexions sense fils com la que ens ocupa.

Aquest estàndard és la base sobre la que creix l'especificació ZigBee, que té com a propòsit oferir una solució completa per aquest tipus de xarxes i construeix els nivells superiors de la pila de protocols que l'estàndard no cobreix. Les característiques més importants d'aquest estàndard són la seva flexibilitat de xarxa, els baixos costos i el baix consum d'energia. Igualment, té com a objectiu definir els nivells de xarxa bàsics per a donar servei a un tipus específic de xarxa sense fils d'àrea personal centrada en l'habilitació de la comunicació entre dispositius de baix cost i velocitat. Per afavorir l'esmentat baix cost, s'afavoreix la comunicació entre nodes propers i sense, o amb molt poca, infraestructura, per afavorir encara més el baix consum. D'aquesta manera es pot dir que en la seva versió bàsica, la comunicació es realitza en una àrea de 10 metres i amb una taxa de transferència de 250kbps.

La definició dels diferents nivells es fonamenta en el model OSI (Figura 34). Tot i que els nivells inferiors (físic i d'enllaç de dades) es defineixen a l'estàndard 802.15.4, es preveu la interacció amb la resta de nivells per mitjà d'un subnivell de Control d'Enllaç Lògic (Logical Link Control, LLC) que accedeix al control d'accés al medi (MAC) mitjançant un subnivell de convergència. Aquesta implementació es pot basar en dispositius externs o integrar-ho tot en dispositius autònoms.

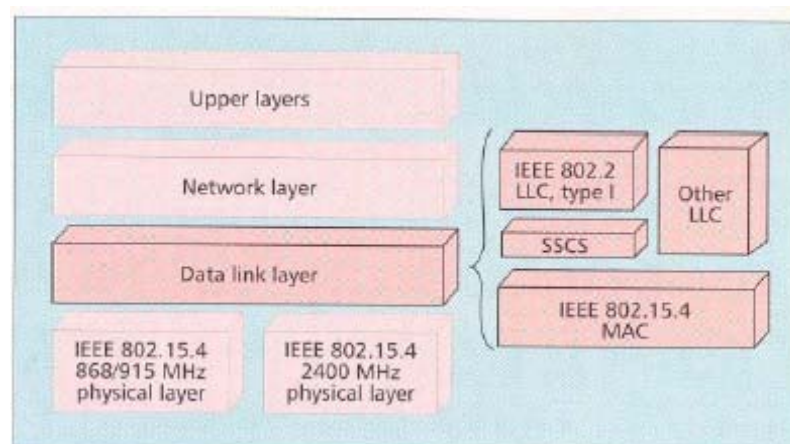


Fig. 34: Estàndard IEEE 802.15.4 amb el sistema OSI.

4.3.1.- Capa física (PHY)

La capa de més baix nivell és la capa física (PHY), que en conjunt amb la capa d'accés al medi, lliuren els serveis de transmissió de dades per aire, punt a punt. Aquestes dues capes estan descrites a l'estàndard IEEE 802.15.4. Igualment, també proporciona la interfície amb la entitat de gestió del nivell físic, per mitjà de la qual es pot accedir a tots els serveis de gestió de la capa i que guarden una base de dades amb informació de xarxes amb les que poden tenir relació. D'aquesta manera, aquesta capa controla el dispositiu de radiofreqüència i realitza la selecció de canals, del control, de consum i el del senyal.

La següent figura il·lustra la capa física i part de les característiques.



Fig. 35: Capa física de l'estàndard ZigBee.

L'estàndard IEEE 802.15.4 ofereix dues opcions de capa PHY que combinen amb el MAC per a permetre un ampli rang d'aplicacions en xarxa. Ambdues opcions de capes PHYs es basen en mètodes de seqüència directa d'espectre estès (DSSS), doncs tenen un baix cost d'implementació i ambdues comparteixen la mateixa estructura bàsica de paquets amb operacions de baix consum d'energia. La principal diferència entre les dues opcions és la banda de freqüències. Una de les opcions és operar amb freqüències de 2,4Ghz. Aquesta opció, que transmet en un rang global, és típicament utilitzada per la branca industrial, mèdica i científica (ISM), mentre que la opció de transmetre en 868-915MHz, especifica operacions de la banda d'Europa (868MHz) i de la banda d'EEUU (915MHz). Aquest estàndard treballa sobre les bandes ISM d'ús no regulat, on es poden definir fins a 16 canals en un rang de 2,4 GHz, cadascun d'ells amb un ample de banda de 5MHz. Un dels avantatges d'emprar la banda de 2,4GHz és que opera en mercats més amplis i costos de manufactura més econòmics. Per altra banda, les bandes de 868 MHz i 915 MHz ofereixen una alternativa a la congestió creixent i les interferències associades a les bandes de 2,4GHz. També hi ha una segona distinció entre ambdues possibilitats de transmissió. La freqüència de 2,4GHz permet un rang de transmissió de 250kb/s, mentre que la banda de 868-915 MHz ofereix rangs de 20kb/s i 40kb/s respectivament. Aquest major rang de transmissió és atribuïble principalment a un major ordre de modulació.

4.3.2.- Capa d'enllaç de dades (Data Link Layer, DLL)

Aquesta capa està dividida en dos subcapes, que són la subcapa d'enllaç d'accés a medis (Medium Access Control, MAC) i la de control d'enllaços lògics (Logical Link Control, LLC) (Figura 36). Mentre que l'LLC és comú a tots els estàndards 802, la capa MAC depèn del hardware i varia respecte a la implementació física d'aquesta capa. Les característiques del MAC 802.15.4 són l'associació i dissociació, reconeixements d'entrega de trama, mecanismes

d'accés al canal, validació de trama i garantia de control dels intervals de temps. L'administrador de serveis MAC té 26 primitives. Això el fa ser molt senzill i versàtil per a les aplicacions pel que va ser dissenyat, tot i que té les desavantatges de no ser tan potent com altres protocols a l'hora de suportar enllaços més robustos. El format general de les trames MAC es va dissenyar per a ser molt flexible i que s'ajustés a les necessitats de les diferents aplicacions amb diverses topologies de xarxa mentre que alhora mantingués un protocol simple. A la trama del MAC se la denomina unitat de dades de protocols MAC (MPDU) i es compon de la capçalera (MHR), unitat del servei de dades (MSDU) i peu de MAC (MFR).

El tamany de les direccions pot variar entre 0 i 20 bytes, però el tamany de la trama MAC completa no serà superior a 127 bytes d'informació.

Una altra funció important de MAC és la confirmació de recepcions amb èxit de trames d'algun dels dispositius.

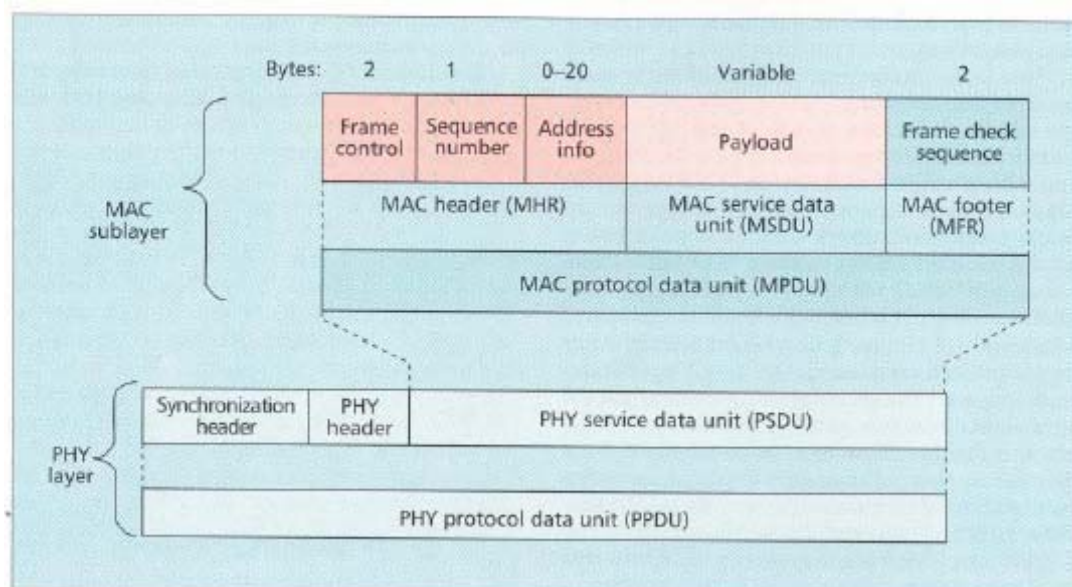


Fig. 36: Forma general de la trama MAC.

Al nivell d'enllaç de dades es pot localitzar el Control de l'Enllaç Lògic (LLC), que fa la funció d'interfície amb els nivells superiors de la pila de protocols.

4.3.3.- Capa de xarxa

La capa de xarxa (Figura 37) té com a objectiu principal permetre el correcte ús del subnivell MAC i oferir una interfície adequada per a l'ús per part de la capa d'aplicació. En aquesta etapa es donen els mètodes necessaris per: iniciar la xarxa, unir-s'hi, enrutar paquets dirigits a altres nodes de la xarxa, proporcionar els medis per a garantir l'entrega del paquet al destinatari final, filtrar paquets rebuts, xifrar-los i autenticar-los. S'ha de tenir en compte que l'algoritme d'enrutament que es fa servir és el d'enrutament de malla (Mesh Networks). Quan aquesta capa està unint o separant dispositius a través del controlador de xarxa, implementa seguretat i encamina trames als seus respectius destins.

A més, la capa de xarxa del controlador és responsable de crear una nova xarxa i assignar direccions als dispositius de la mateixa.

És en aquesta etapa on s'implementen les diferents topologies que ZigBee suporta (arbre, estella i malla). Ara bé, l'elecció de la topologia es fa en funció de les funcions de l'aplicació i el seu disseny

Les xarxes que es construeixen dins aquesta capa de l'estàndard IEEE802.15.4, s'espera que s'autoorganitzin i automantinguin en funcionament, de tal manera que es podran reduir els costos totals del consumidor.



Fig. 37: Capa de xarxa de l'estàndard ZigBee.

4.3.4.- Capa de suport a l'aplicació

És la responsable de mantenir el rol que el node juga a la xarxa, filtrar paquets a nivell d'aplicació, mantenir la relació de grups i dispositius amb els que l'aplicació interactua i simplificar l'enviament de dades als diferents nodes de la xarxa. La capa de xarxa i la de suport a la xarxa són definides per la ZigBee Alliance.

4.3.5.- Capa d'aplicació

Aquesta capa permet l'aplicació del sistema (Figura 38). Ve definida pels fabricants i és a on es troba definit el paper del dispositiu a la xarxa. Defineix, per tant, si actuarà com a enrutador, coordinador o dispositiu final. Cada capa es comunica amb les capes del voltant per mitjà d'una interfície de dades i una altra de control. Les capes superiors sol·liciten serveis a les inferiors, i aquestes envien els resultats a les superiors. A més de les capes esmentades, a l'arquitectura també s'integren un **Mòdul de seguretat** (proveeix els serveis per a xifrar i autenticar els paquets) i un **Mòdul d'administració del dispositiu ZigBee** (s'encarrega d'administrar els recursos de xarxa del dispositiu local, a més de proporcionar a l'aplicació funcions d'administració remota de xarxa).



Fig. 38: Capa d'aplicació de l'estàndard ZigBee.

4.4.- Característiques

La primera versió de la tecnologia ZigBee va sorgir l'any 2004, estava disponible per a membres de la "ZigBee Alliance" i funcionava amb una estructura de diferents nivells. El desembre de 2006 es va aprovar una segona versió del protocol ZigBee2006, i actualment s'està treballant en noves versions. Des dels seus orígens, ZigBee ha generat una gran expectativa, doncs a nivell de software, és una tecnologia que empra un codi molt inferior a tecnologies existents i consolidades com poden ser Bluetooth o la mateixa Wi-Fi.

A nivell de transmissió, és interessant comentar que ZigBee opera sota les anomenades "Bandes Lliures ISM", de 2,4GHz a nivell global, o 868MHz (Europa) i 915 Mhz (EEUU). En el rang de freqüències de 2.4GHz es defineixen fins a 16 canals de 5MHz d'ample de banda cada un.

Les figures 39 i 40 mostren com estan distribuïts els canals i les freqüències a l'estàndard que fa servir ZigBee.

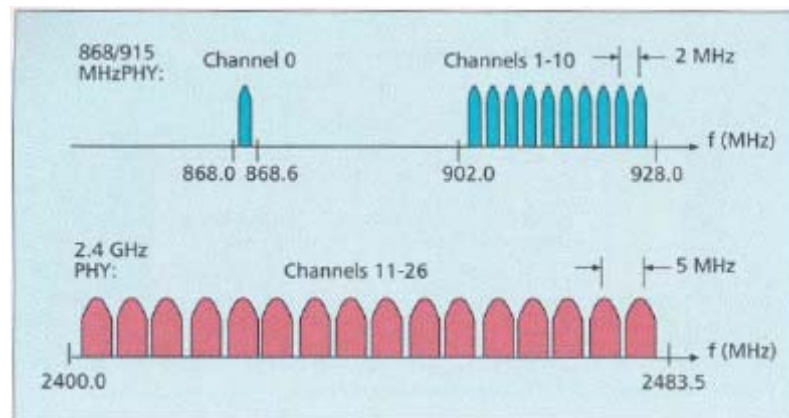


Fig. 39: Estructura dels canals de l'estàndard IEEE 802.15.4.

Channel number	Channel center frequency (MHz)
$k = 0$	868.3
$k = 1, 2, \dots, 10$	$906 + 2(k - 1)$
$k = 11, 12, \dots, 26$	$2405 + 5(k - 11)$

Fig. 40: Freqüència dels canals de l'estàndard IEEE 802.15.4.

Tot i que comparteix freqüència amb Bluetooth i Wi-Fi, el funcionament de ZigBee no se'n veu afectat, doncs té una taxa de transmissió molt baixa i, a més, les característiques pròpies de l'estàndard IEEE 802.15.4 ho impedeixen. ZigBee té una velocitat de transmissió de 250 Kbps, i un rang de cobertura que va des de 10 a 75 metres. És important remarcar que cada xarxa ZigBee té un identificador únic, fet que permet que un sol canal pugui allotjar diverses xarxes. De fet, teòricament en un mateix canal poden existir fins a 16000 xarxes diferents, i cadascuna d'elles pot estar constituïda per a 65000 nodes distribuïts en subxarxes de fins a

255 nodes. No obstant, per allotjar totes aquestes capacitats de transmissió s'ha de disposar d'un maquinari molt potent del que no sempre es disposa.

Un altre punt al que cal fer esment de la tecnologia ZigBee és que és un protocol de transmissió multisalt. Això vol dir que entre dos nodes que estan separats per una distància superior a la del rang de transmissió, es pot establir comunicació sempre que hi hagi nodes intermedis que els interconnectin (facin de pont entre nodes). D'aquesta manera, el tamany de la xarxa es veu incrementat notablement.

4.5.- Tipus de dispositius

Segons la funció que tinguin a la xarxa, es defineixen tres tipus diferents de dispositius:

4.5.1.- Coordinador ZigBee (ZC)

És el tipus de dispositiu més complet. Pot actuar tant de node principal en una xarxa amb tipologia d'arbre com de node d'enllaç entre xarxes. Cada xarxa té el seu coordinador, que és el node que la comença. Té la capacitat d'emmagatzemar informació de la xarxa i pot gestionar les qüestions de seguretat d'aquesta. A més, també té la tasca de controlar i coordinar la xarxa i els camins que han de seguir els dispositius per a connectar-se entre ells.

4.5.2.- Router ZigBee (ZR)

A més d'oferir un nivell d'aplicació per a l'execució de codi d'usuaris, pot actuar com a router interconnectant dispositius separats.

4.5.3.- Dispositiu final (ZED):

El dispositiu final (End Device) posseeix la funcionalitat necessària per a comunicar-se amb el seu node pare, però no pot transmetre informació destinada a altres dispositius. D'aquesta manera, aquest tipus de node pot estar en estat d'espera (o desconnectat) una bona part del temps, fet que augmentarà la vida de les seves bateries. Aquest tipus de dispositius, tenen uns requeriments mínims de memòria, el que els fa força econòmics.

La figura següent il·lustra els diferents tipus de dispositius que poden tenir els nodes.

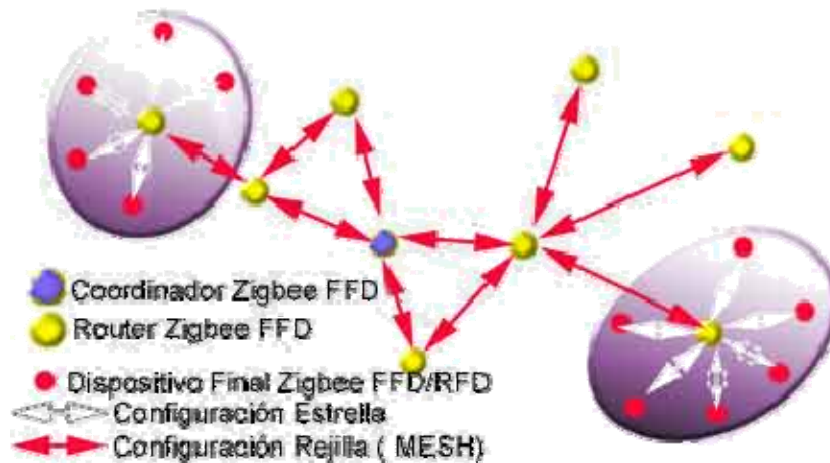


Fig. 41: Exemple de xarxa amb diferents dispositius i estructures.

4.6.- Classificació dels dispositius en base la seva funcionalitat

4.6.1.- Dispositius de funcionalitat completa (FFD)

També són coneguts com a nodes actius. Són capaços de rebre missatges en format del estàndard 802.15.4. Degut a la memòria addicional, i a la capacitat de computació, poden funcionar com a coordinadors o routers, o poden ser utilitzats en dispositius de xarxa que actuen d'interfície amb els usuaris.

4.6.2.- Dispositius de funcionalitat reduïda (RFD)

També són coneguts com a nodes passius. Tenen capacitat i funcionalitat limitades segons l'estàndard, amb l'objectiu d'aconseguir un baix cost i una gran simplicitat. Bàsicament són els sensors i actuadors de la xarxa. Es poden comunicar amb els FFD de la xarxa, però no poden ser-ne coordinadors.

4.7.- Components principals del projecte

El **ZDO** (Funcions dels Dispositius ZigBee) s'encarrega de la definició del rol d'un dispositiu com pugui ser el Coordinador ZigBee o el Dispositiu Final. A més a més, el ZDO identifica els dispositius que es troben a un moviment dins la constitució de la xarxa (els veïns), i els serveis que ofereixen. Després d'això, pot procedir a establir enllaços segurs amb dispositius externs i respondre peticions.

L' **APS** (Subnivell de Suport a l'Aplicació) és el segon component bàsic del nivell. Ofereix una interfície ben definida i serveis de control associats. Treballa com a vincle entre el nivell de xarxa i la resta de components del nivell d'aplicació. Manté actualitzades les bases de

dades de les taules d'associacions de xarxes, que pot emprar per a trobar dispositius adequats en funció dels serveis demandats i oferts. Com a pont entre dos nivells, encamina els missatges al llarg de la pila de protocols.

4.8.- Empaquetament, direccionament i seguretat

4.8.1.- Empaquetament

Per a mantenir una interfície comú i simple amb MAC, ambdues capes físiques comparteixen una estructura simple del paquet. Cada paquet o unitat de dades del protocol PHY (PPDU), conté una capçalera de sincronització, una capçalera de PHY per indicar la longitud del paquet, i la càrrega d'informació, o la seqüència de PHY (PSDU). Dins de la capçalera de PHY, s'utilitzen 7 bits per a especificar la longitud de la càrrega de dades (en bytes). La longitud de paquets va de 0 a 127 bytes.

Igualment, com ja s'ha comentat, el funcionament de ZigBee ha de complir l'objectiu del baix consum. Una manera d'aconseguir-ho, és fent que els seus components (nodes) romanquin en estat latent quanta més estona millor. Quan es parla d'estat latent o adormit, vol dir que el dispositiu està esperant que el router o coordinador el desperti, l'activi, per fer-ne ús. Una vegada es requereix el seu ús, el node ZigBee es desperta en un temps molt petit, transmet, i es torna a quedar en estat latent. Igualment, cal comentar que en una xarxa ZigBee, és molt important que els dispositius finals (ZED) romanguin adormits quanta més estona millor. Així, romandran en estat latent a no ser que siguin activats per operar.

Amb ZigBee, l'empaquetament es realitza amb quatre tipus diferents de paquets. Aquests són: dades, ACK, MAC i balisa.

A) Amb paquets de dades

Els paquets de dades tenen una càrrega de fins a 104 bytes. La trama està numerada per assegurar que tots els paquets arriben al destí. Un camp confirma que el paquet s'ha rebut bé. En condicions complicades de transmissió, aquesta estructura n'augmenta la fiabilitat.

B) Els paquets ACK

A l'estructura dels paquets ACK és on es realitza una realimentació des del receptor a l'emissor, d'aquesta manera es confirma que el paquet s'ha rebut sense errors. Es pot incloure un espai de temps buit entre trames per enviar un petit paquet després de la transmissió de cada paquet.

C) El paquet MAC

El paquet MAC es fa servir pel control remot i la configuració de dispositius/nodes. Una xarxa centralitzada fa servir aquest tipus de paquets per a configurar la xarxa a distància.

D) Paquets balisa

El paquet balisa s'encarrega de despertar els dispositius que, en estat latent, esperen rebre els paquets de dades. Aquests dispositius es tornen a adormir si no reben res més. Les balises són elements que es fan servir per a poder sincronitzar tots els dispositius que conformen la xarxa. Aquest model de comunicació està permanentment controlat per un distribuïdor que s'encarrega de controlar el canal i dirigir les transmissions. El distribuïdor permet a tots els dispositius saber quan poden transmetre. Aquests paquets són importants per a mantenir tots els dispositius i els nodes sincronitzats, sense haver de gastar una gran part de bateria degut al estar connectats tota l'estona. Aquest és el mode més recomanable quan el coordinador de xarxa treballa amb una bateria.

- **Xarxes amb balisa**

Quan la xarxa funciona amb balises, la via de transmissió i recepció està controlada permanentment pel coordinador de xarxa, encarregat de controlar el canal i dirigir les transmissions. Aquest coordinador permetrà als dispositius saber quan disposen de permís per emetre i quan no. Els intervals de transmissió amb balises es fan cada certs intervals de temps que poden anar de 15 mseg fins a 240 seg. D'aquesta manera, es garanteix l'ample de banda dedicat i el baix consum. Aquest mode és més recomanable quan el coordinador de la xarxa treballa amb una bateria. Els dispositius que formen la xarxa, escolten al coordinador de la xarxa durant l'abalisament (enviament del missatge en broadcast³ a tots els dispositius).

Un dispositiu que vulgui intervenir, el primer que haurà de fer és registrar-se al coordinador de la xarxa, i és aleshores quan mira si hi ha missatges per a ell. Si no hi ha missatges, el dispositiu es torna a adormir i es desperta d'acord a un timer acordat prèviament amb el coordinador de xarxa.

Quan el coordinador de xarxa acaba l'abalisament, els dispositius de la xarxa es tornen a quedar adormits. D'aquesta manera, es gestiona l'energia d'una manera molt òptima i eficaç.

(3) Broadcast: Al transmetre un paquet, aquest serà rebut per tots els dispositius de la xarxa

- **Xarxes sense balisa**

Per a una xarxa sense balises, cada dispositiu és autònom, i pot iniciar una conversa en la que altres poden intervenir. A vegades pot succeir que el dispositiu destí pot no sentir la petició, o que el canal estigui ocupat, fet que pot ocasionar col·lisions. Per aquest motiu, es fan servir mecanismes d'accés al medi com pot ser un estàndard ALOHA CSMA-CA que envia confirmacions per a paquets rebuts correctament. Els dispositius dormen pràcticament tota l'estona.

Per què se'ls tingui en compte, aquests elements es desperten regularment per avisar que segueixen connectats a la xarxa. Una vegada han dut a terme l'avís, passen ràpidament a un estat latent una altra vegada. Quan succeeix un event, el sensor es desperta instantàniament i transmet l'avís. En aquest moment el coordinador de xarxa rep el missatge enviat pel sensor i activa l'alarma corresponent. En aquest cas, el coordinador de xarxa s'alimenta de la xarxa principal durant tota l'estona. Aquest sistema es fa servir sovint en sistemes de seguretat, en els que els dispositius dormen pràcticament tota l'estona.

Quan ZigBee no fa servir balises, es minimitza el temps d'activitat per evitar l'ús d'energia. Ara bé, el consum de cada dispositiu serà diferent degut a que es trobaran nodes actius permanentment i altres que ho estan esporàdicament. No obstant, a les xarxes amb balises els nodes només necessiten estar desperts quan les balises s'estan transmetent o quan tenen un temps assignat per a fer-ho.

A la figura següent es mostren les diferents capes amb les que treballa ZigBee, i el tipus de cada paquet dins la subcapa mac.

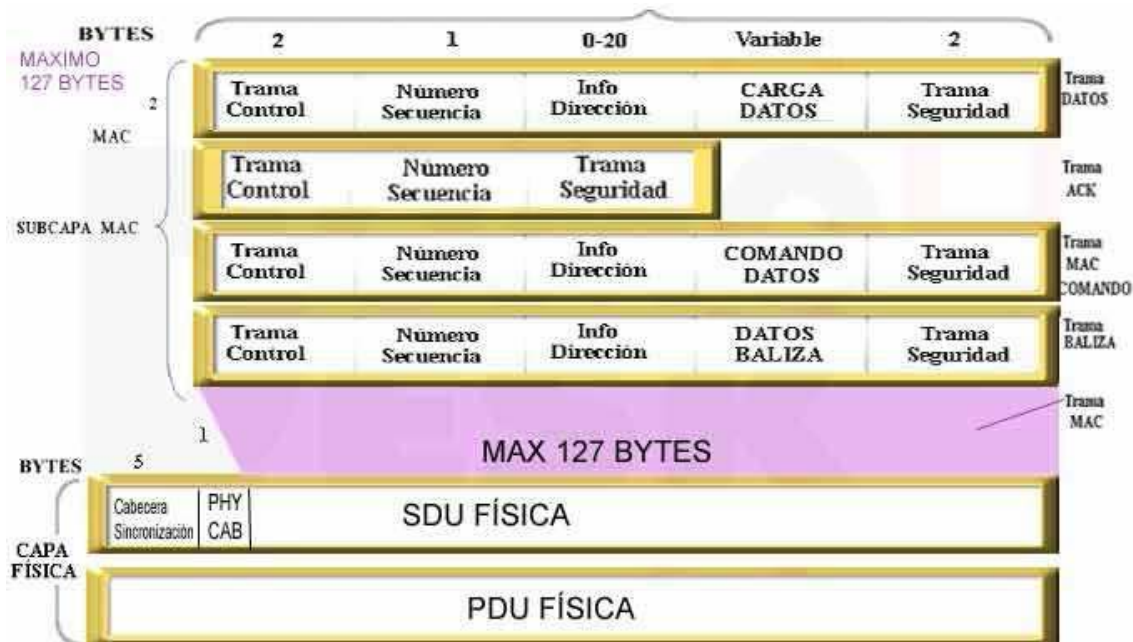


Fig. 42: Camps dels quatre paquets bàsics de ZigBee.

E) Estructura de les super-trames

Com ja s'ha dit, algunes aplicacions requereixen amplex de banda dedicats a aconseguir un estat latent d'energia i, d'aquesta manera, optimitzar el consum energètic dels dispositius. Per aconseguir els estats latents esmentats, l'estàndard IEEE 802.15.4 pot operar en un mode anomenat de "super-trama" (superframe) (figura 43). De manera molt similar a les balises, en mode super-trama el coordinador de la xarxa transmet superframes de guia cada certs intervals de temps definits. El temps de cada interval es divideix en ranures de temps independents de la duració de cada superframe, de tal manera que els dispositius de xarxa puguin emetre quan vulguin, sempre i quan estiguin dins el interval de temps corresponent. Igualment, han d'acabar la seva transmissió abans de que s'envii la següent super-trama de guia. L'amplada i preferència del canal d'accés a les ranures de temps està definit prèviament, però el coordinador pot modificar-ne l'adjudicació en funció de les necessitats d'ample de banda que requereixi cada dispositiu.

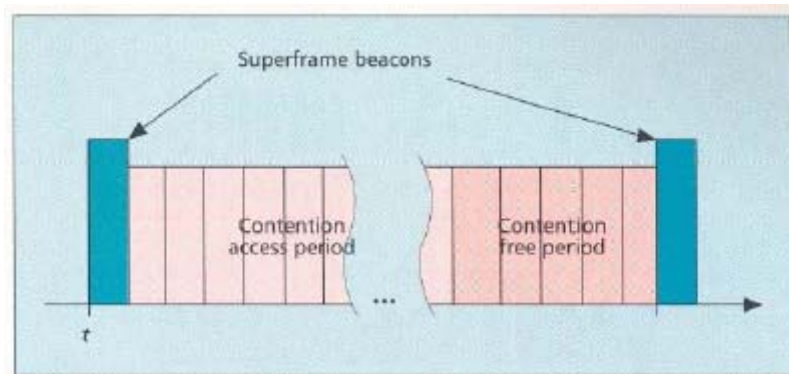


Fig. 43: Estructura de les super-trames.

4.8.2.- Direccionament

Altament, el direccionament és, a la vegada, part del nivell d'aplicació. Un node està format per un transceptor de ràdio compatible amb l'estàndard 802.15.4, on s'implementen dos mecanismes d'accés al canal i una o més descripcions de dispositiu. El transceptor és la base del direccionament, mentre que els dispositius d'un node s'identifiquen mitjançant un número entre 1 i 240. Existeixen dos maneres de direccionar les dades. Per un costat, el direccionament directe utilitza la direcció de ràdio i el número de "End point" (un dels dispositius o nodes de la xarxa); per altra, el direccionament indirecte necessita tota la informació rellevant per enviar-la al coordinador i que aquest la gestioni. El coordinador gestionarà tota la informació, l'analitzarà i la retornarà proporcionant les dades necessàries. Direccionar d'aquesta manera afavoreix l'ús de dispositius senzills que minimitzin l'emmagatzematge intern.

Els dispositius es direccionen emprant 64 bits i un direccionament curt opcional de 16 bits. El camp direcció inclòs a la capa MAC pot contenir informació de direccionament d'ambdós origen i destí (necessaris per a operar punt a punt). Aquest doble direccionament és emprat per prevenir errors dins la xarxa.

Els dos mecanismes d'accés al canal que implementa ZigBee es poden utilitzar per a xarxes amb balises i sense balises.

4.8.3.- Seguretat

Un altre aspecte molt important, és la seguretat de les transmissions i de les dades, ja que aquests són un punt clau en la tecnologia ZigBee que empra el model de seguretat de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, i que especifica quatre serveis de seguretat:

A) Control d'accessos. El dispositiu manté una llista de dispositius comprovats prèviament a la xarxa.

B) Dades encriptades les quals fan servir codis d'encriptació de 128 bits.

C) Integració de trames per a protegir les dades de ser modificades per altres.

D) Seqüències de refresc per a comprovar que les trames no han estat reemplaçades per altres. El controlador de xarxa comprova les trames refresc i el seu valor, per veure si són les esperades.

4.9.- Arquitectura

4.9.1.- La ZigBee stack

ZigBee són un conjunt de protocols que estan organitzats en diferents capes independents les unes de les altres.

La pila de protocols ZigBee (o ZigBee stack) (figures 44 i 45), es fonamenta en el nivell físic (PHY) i en el de control d'accés al medi (MAC), definits ambdós a l'estàndard IEEE 802.15.4, que desenvolupa aquests nivells per a xarxes sense fils d'àrea personal de baixa taxa de transferència. L'especificació ZigBee completa aquest estàndard afegint quatre components principals: **Nivell de xarxa, nivell d'aplicació, Objectes de dispositius ZigBee (ZDO, ZigBee device objects) i objectes d'aplicació definits pel fabricant.** A més d'afegir dues capes d'alt nivell (xarxa i aplicació) a la pila de protocols, el principal canvi és que també s'afegeixen els ZDO, doncs són els responsables de dur a terme una sèrie de tasques entre les quals cal destacar el manteniment dels rols dels dispositius, la gestió de peticions d'unió a una xarxa, descobrir nous dispositius i complir amb la seguretat.

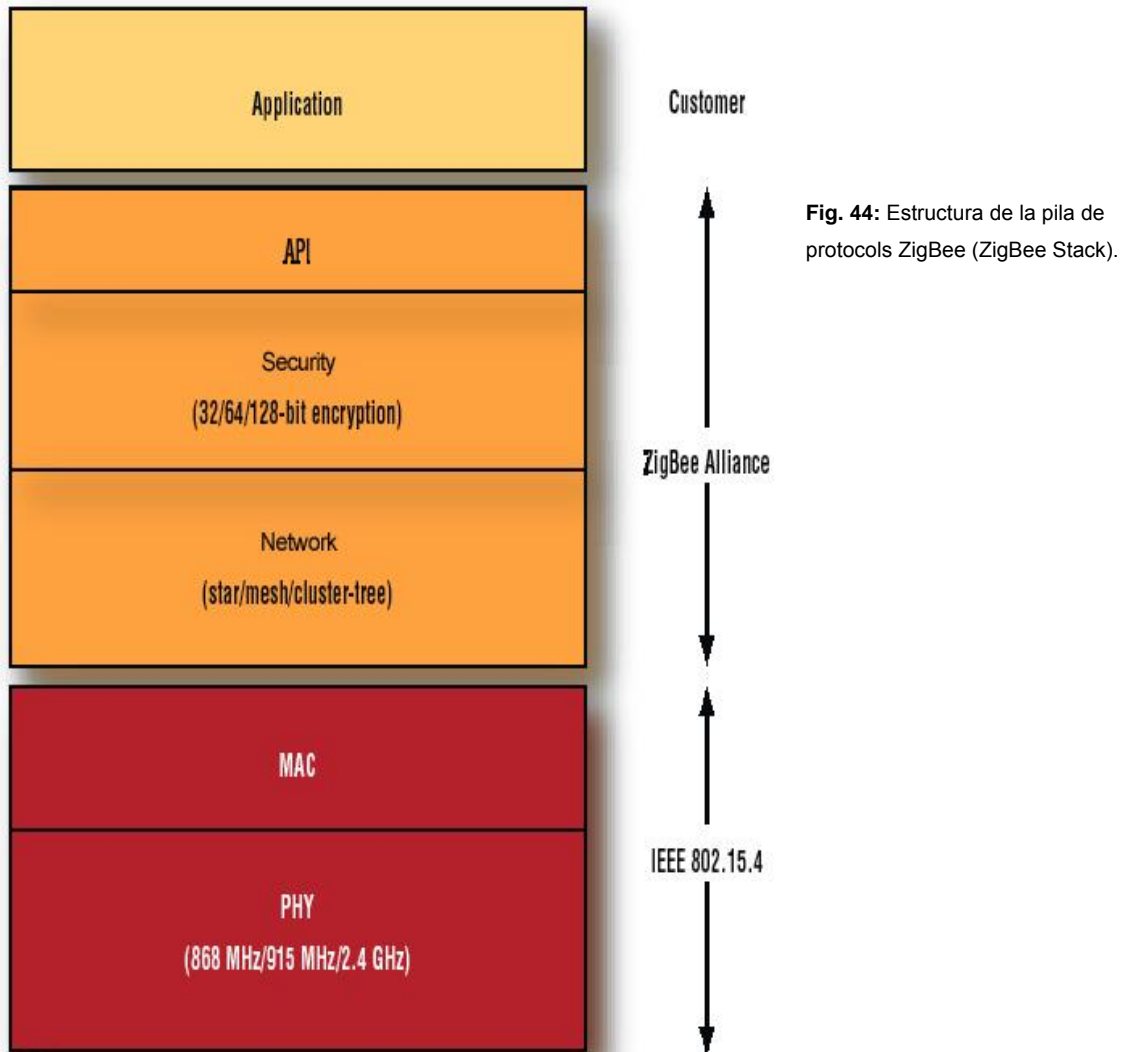


Fig. 44: Estructura de la pila de protocols ZigBee (ZigBee Stack).

Fig. 45: Estructura de l'arquitectura ZigBee.



4.9.2.- SimpliciTI Network Protocol

El protocol SimpliciTI és un protocol de baixa potència destinat a les petites xarxes de radiofreqüència. Pel cas exposat, on les xarxes es creen i desapareixen en funció del pas de vehicles, disposar d'un dispositiu amb aquestes característiques significa un punt important gràcies a la baixa potència i, per tant, als baixos consums d'energia que en deriven. Les xarxes que operen en base aquest protocol es caracteritzen per estar constituïdes per aparells que tenen una despesa de bateria molt baixa, igual que transmeten rangs de dades molt petits i disposen d'un número de nodes limitat (inferior a 100) parlant-se entre ells. El protocol de xarxa SimpliciTI està dissenyat per a dur a terme una fàcil implementació i que necessiti un consum mínim de recursos de microcontrolador. Totes aquestes característiques es fan notar en el projecte desenvolupat i, per tant, sembla que fer servir aparells governats per aquests protocols és una bona elecció. Cal dir també, que en una xarxa no ha de ser necessària la presència de punts d'accés, però és igualment cert que dits dispositius són tolerats pel protocol en cas d'instal·lació. Igualment, emprar extensors de rang permet ampliar la cobertura de la xarxa amb salts addicionals. Les xarxes de radiofreqüència de baix consum d'energia, solen estar formades per dispositius que necessiten una llarga vida de les seves bateries i una baixa taxa de transmissió i d'emissió de dades. Igualment, disposen d'un número limitat de nodes que es puguin connectar entre ells. Amb el protocol de xarxa SimpliciTI, les necessitats de recursos del microcontrolador són mínims, la qual cosa deriva en baixos costos de recursos de sistema per les xarxes.

Tot i els baixos recursos requerits, el protocol de xarxa SimpliciTI suporta dispositius finals connectats punt a punt dins una xarxa, permet la col·locació de punts d'accés per emmagatzemar i reenviar missatges i, alhora, es poden connectar repetidors per augmentar el rang de la xarxa de comunicacions. En un futur, està previst que s'afegeixin característiques més sofisticades, com poden ser millores en la freqüència o una rutina de seguretat per l'encriptació de missatges, entre altres.

El protocol de xarxa SimpliciTI és compatible amb una gran varietat d'aplicacions de baixa potència tals com alarmes de seguretat (detectors d'incendis, sistemes antirobatori o sensors de llum), sistemes de lectura automatitzada, aplicacions de domòtica i altres aplicacions de RFID.

Igualment, el fet que sigui un codi lliure d'ús sense llicència, fa notar l'avantatge de fer-lo servir.

4.10.- Característiques del Kit de desenvolupament "MSP430 eZ430-RF2500"

Una vegada explicades les característiques de la tecnologia ZigBee, és bon moment per explicar també, les característiques que té el kit de desenvolupament emprat per dur a terme l'aplicació.

A l'hora d'implementar la part pràctica del projecte, s'ha fet servir (com ja s'ha comentat) un kit de desenvolupament cedit pel departament de Microelectrònica i Sistemes Electrònics de la UAB. El kit en qüestió és del fabricant Texas Instruments, i és el model "MSP430 eZ430-RF2500 Development Tool". S'ha de comentar que és molt probable que hi hagi kits de radiofreqüència més òptims que aquest per a desenvolupar projectes de les característiques del que ens ocupa. Ara bé, la intenció d'aquesta demostració pràctica no és més que demostrar que hi ha tecnologia per a dur a terme un projecte com el proposat.

El kit en qüestió inclou, a nivell de hardware:

- Dues targetes eZ430-RF2500T
- Una interfície de debugació per USB (eZ430-RF USB)
- Un suport per poder acoblar les bateries. Aquestes han de ser AAA.

Igualment, el kit porta un CD amb la següent documentació:

- Guia d'usuari pels dispositius de la família MSP430x2xx
- Guia d'usuari pel dispositiu eZ430-RF2500
- Els components Software per desenvolupar aplicacions:
 - o Code Composer Essentials (CCE)
 - o IAR Embedded Workbench (KickStart Version).
- Una aplicació demo per a visualitzar els dispositius i mostrar uns paràmetres determinats, eZ430-RF2500.

El mòdul sense fils eZ430-RF2500 és una eina de desenvolupament per a la família de microcontroladors MSP430, i els dispositius sense fils CC2500, que inclouen tot el hardware i software necessari per a desenvolupar els projectes proposats connectant amb l'ordinador a través de USB. El kit inclou un emulador de potència USB per a programar i depurar l'aplicació creada des de l'ordinador, emet a 2.4Ghz de freqüència amb transmissió sense fils i amb molt baix consum. Els projectes creats es poden desenvolupar i seguidament executar fent servir el mòdul de bateries i bateries del tipus AAA. Tot el software necessari per a programar els projectes a dur a terme s'inclou en un complet entorn de desenvolupament integrat i que fa servir SimpliciTI com a pila de protocols ZigBee.

Els dispositiu eZ430-RF2500 disposa d'una interfície que permet programar els dispositius via USB, un microcontrolador de la família MSP430 (de molt baix consum) a 16Mhz, un transciever⁴ CC2500 a 2,4Ghz, l'aplicatiu UART (xip controlador dels ports, dels dispositius sèrie i les interrupcions dels dispositius connectats al port sèrie, entre altres), dos leds i 18 pins disponibles per a realitzar proves.

(4) Transciever: Transmissió/receptor de senyals de radiofreqüència que serveix per a connectar dispositius amb tecnologia sense fils.

Per ser programat, el dispositiu en qüestió pot fer ús d'entorns de programació per a poder escriure, descarregar i programar les aplicacions que es vulgui.

Els entorns en qüestió són:

- IAR Embedded Workbench
- Code Composer Essentials (CEE).

Ambdues eines poden ser molt útils a l'hora de dissenyar, debugar i provar el programa.

Als dispositius, tant el de USB com el de bateries, se'ls pot acoblar una targeta de transmissió sense fils (eZ430-RF2500T) que, segons el tipus de programació instal·lada al microcontrolador, actuarà d'una manera o altra.

Es poden programar com a Access Point (AP) o bé com a End Device (ED), i venen equipades amb un microcontrolador MSP430F2274, un transceiver CC2500 (funciona a 2,4Ghz, banda multicanal ISM de baix consum, gestiona el control de paquets, emmagatzemament de dades, i inici de transferència entre altres), dos leds i un polsador.

4.11.- Topologies

Les xarxes entre dispositius estan composades per a diferents grups de maquinari que es comuniquen entre ells, tot i estar separats per una distància sense fils. Cada dispositiu posseeix un identificador de direccionament únic de 64 bits que, segons l'entorn, pot ser reduït a un identificador més curt de sols 16 bits.

ZigBee suporta tres tipus diferents de topologies. Aquestes són: Estrella, arbre i malla (Mesh Networks). Sempre hi ha un node de la xarxa que agafa el paper de coordinador de l'estructura (Dispositiu de Funcionalitat Completa, FFD), i és l'encarregat de centralitzar l'adquisició i les rutes de comunicació entre dispositius. A més, aplicant el concepte de malla (Mesh Networks), poden existir coordinadors o routers, alimentats permanentment en espera de rebre/repetir les trames dels dispositius o sensors. Els dispositius que fan la funció de sensors, termòstats, comandaments a distància, etc. hauran de ser alimentats amb bateries independents.

Degut a que la majoria d'aplicacions fan servir una topologia de tipus malla, aquesta serà la única topologia que s'explicarà

A) Topologia de malla

Una de les majors aportacions del ZigBee i que major expectació desperta és el concepte de xarxa amb topologia de malla (Mesh Networks). En aquest cas, qualsevol dispositiu ZigBee es pot connectar a un altre dispositiu fent servir un o varis dels seus companys com a repetidors. Aquest concepte s'anomena Multisalt. El primer que fa és fer arribar la informació que s'ha de transmetre al node ZigBee veí el qual pot, a més, ser coordinador de la xarxa per així arribar al node destí passant per tots els que faci falta. D'aquesta manera, qualsevol node ZigBee pot fer arribar les dades a qualsevol part de la xarxa sense fils sempre i quan tots els

dispositius tinguin un veí dins el seu rang de cobertura. És molt interessant veure que aquesta topologia de xarxa la fa molt resistent a la pèrdua d'informació. Això vol dir que si un dels enllaços es trenca, la transmissió podrà continuar fent-se a través dels veïns que tinguin el node incommunicat. La comunicació, per tant, es refà. Això és degut a que els nodes estan connectats uns amb altres i, per tant, es creen camins redundants entre ells. L'aplicació del concepte de malla, pot fer viable moltes aplicacions de domòtica via ràdio a vivendes construïdes, on les tecnologies de ràdio existents ho impedié per problemes de cobertura entre dispositius.

A continuació es mostren diferents exemples de la topologia de malla:

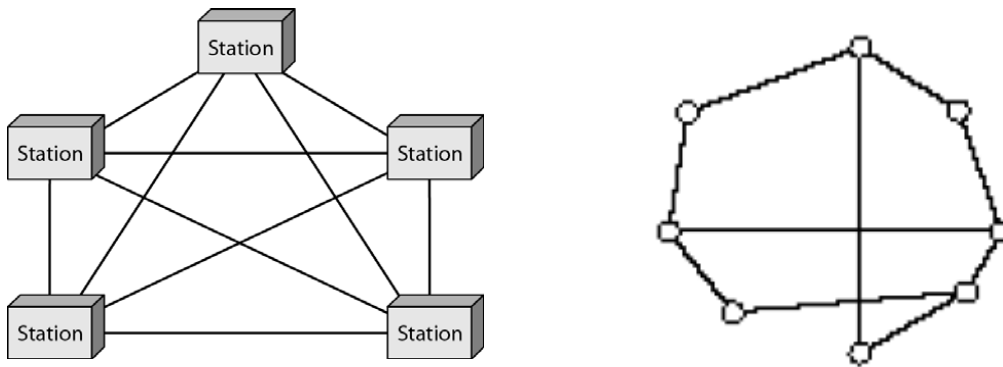
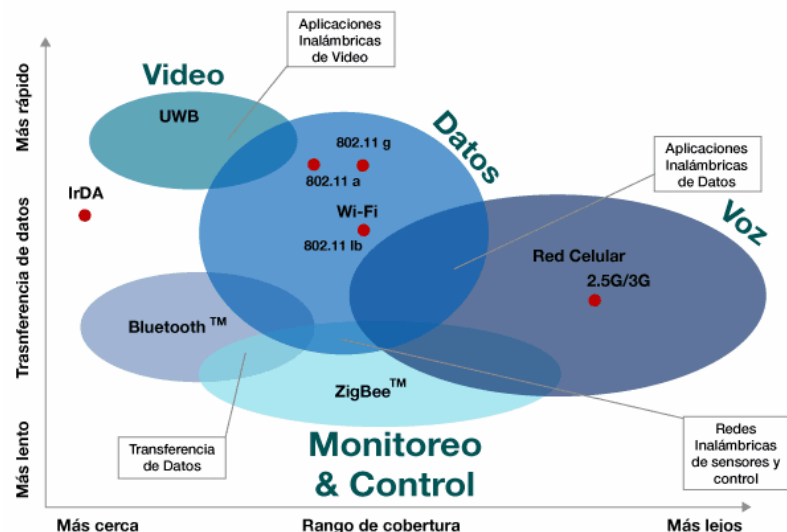


Fig. 46: Diferents tipus de topologia de malla.

B) Àrees d'aplicació

El mercat de les xarxes ZigBee avarca una gran varietat d'aplicacions (figura 47). En l'actualitat, un gran número de les empreses que formen part de la ZigBee Alliance estan desenvolupant productes que van des d'electrodomèstics, fins a telèfons mòbils. Cal tenir en compte que ZigBee està dissenyat per aplicacions que transmeten uns quants bytes, com podria ser el cas, per exemple, de l'aplicació que ens ocupa. Això no vol dir que sigui el hardware més idoni, ni que el seu únic ús sigui el que es presenta en aquesta memòria, però sí que podria ser un bon candidat per dur a terme una implementació del sistema en cas que es volgués aplicar.

Fig. 47: Grups d'aplicacions en els que ZigBee hi podria actuar.



El fet d'aplicar aquesta tecnologia al dia a dia d'una llar ens pot permetre, per exemple, prescindir d'interruptors, connectar electrodomèstics a través d'internet, del telèfon mòbil, o una gran quantitat de possibilitats i d'aplicacions a distància.

Aplicat a l'automoció, es pot trobar que la tecnologia ZigBee es podria fer servir també a l'hora de tractar informació d'automòbils concrets. Si es connecta un tag al vehicle, i aquest va recollint tot tipus d'informació (per mitjà de sensors, per exemple) durant un període de temps, aquestes dades es podran enviar a un receptor col·locat en un lloc estratègic.

De manera més general, val a dir que ZigBee és ideal per a xarxes estàtiques, escalables i amb molts dispositius, pocs requisits d'ample de banda i on es requereixi una duració perllongada de les bateries. En certes condicions i per a determinades aplicacions pot ser una bona alternativa a altres tecnologies sense fils consolidades al mercat com poden ser Wi-Fi i Bluetooth, tot i que la falta de suport TCP/IP no la fa adequada per a la interconnexió de xarxes de comunicació IP. Degut a això es pot pensar que la tecnologia Zigbee no eliminarà a altres tecnologies ja consolidades, sinó que podrà conviure amb elles i trobar les seves pròpies aplicacions.

Capítol 5: Detecció de senyals a temps real a través d'imatges

5.1.- Conceptes previs

Intensitat lumínica o lluminosa: Quantitat de flux lluminós que es propaga en una direcció donada i que emergeix, travessa o incideix sobre una superfície per unitat d'angle sòlid.

CIE: Comissió creada el 1913 que és l'autoritat en els camps de la llum, il·luminació i color. Han caracteritzat de manera precisa el sistema natural de senyal RGB creant un diagrama cromàtic de l'espai CIE.

Espai de color CIELab: Espai que permet especificar estímuls de color en un espai tridimensional. L'eix 'L' és el de lluminositat, l'eix 'a' representa la variació entre vermellós i verdós, mentre que l'eix 'b' representa la variació entre groguenc i blavós.

Polígon Convex: Un polígon és convex quan podem connectar qualsevol parella de píxels amb una línia recta i aquesta queda completament continguda dins la regió.

Convex Hull: Regió que descriu la corda quan emboliquem una regió no convexa.

Transformada de Hough: La transformada de Hough és un algorisme emprat per a reconèixer patrons en imatges, i que permet trobar certes formes en una imatge donada. Aquestes formes, poden ser línies, cercles, etc.

Binarització d'una imatge: Binaritzar una imatge consisteix en convertir una imatge digital en una imatge en blanc i negre, de tal manera que es preservin les propietats essencials de la mateixa.

Espai de color tonalitat-saturació-Intensitat (HSI): Espai que defineix un model de color en termes dels seus components constituents. És una deformació no lineal de l'espai de color RGB. La component de saturació va des del completament saturat fins al gris equivalent, mentre que la luminància sempre va des del negre fins al blanc passant per la tonalitat desitjada.

Opening: Operador que s'utilitza per eliminar objectes petits, protuberàncies en la forma dels objectes i connexions entre diferents objectes. Es tracta en fer, sobre una imatge, primer una erosió i després una dilatació fent servir sempre el mateix element estructural.

Soroll: En imatge, el soroll són totes aquelles taques (també anomenades pols) que fan que la imatge perdi nitidesa i qualitat.

5.2.- Introducció

En aquest apartat, el que es durà a terme serà una anàlisi que reflectirà diferents mètodes a l'hora de tractar la identificació dels senyals de trànsit a través de sensors visuals (com poden ser càmeres d'enregistrament) i a temps real.

Els senyals de trànsit esdevenen una eina bàsica i totalment necessària a l'hora de mantenir l'ordre en la circulació i, conseqüentment, evitar accidents. Aquestes, defineixen un llenguatge visual que els conductors interpreten, mostren situacions i normes a la carretera, alerten de dificultats que poden patir els conductors i els avisen dels perills dels que poden ser víctimes. Per tant, els ajuden mostrant informació per fer la conducció fàcil, segura i tranquil·la.

Paral·lelament, val la pena comentar que de quantes més imatges per analitzar es disposi, millor. És a dir, encara que el processament sigui més costós d'analitzar, val la pena fer servir càmeres d'enregistrament continu pels següents motius:

- Informació redundant: Fer servir diverses imatges de la mateixa escena pot incrementar la robustesa de detecció del sistema, especialment en seqüències amb alts nivells de soroll. Per això, un error en la detecció en una imatge presa, no significa necessàriament que falli la detecció del senyal, doncs es disposarà de la resta de seqüència per a treballar.

- Objectius de diferents mides: És important que els objectius siguin de mida igual o superior a la plantilla predefinida. Per tant, els que tinguin mida inferior seran refusats. D'aquesta manera, es redueix la detecció de falsos objectius que podien haver estat generats pel soroll de la imatge. Amb la presa consecutiva d'imatges des de diferents punts, el sistema assegura la detecció del senyal amb una mida correcta.

- Diversos punts de vista d'un mateix objectiu: A cada moviment, l'angle de la càmera canvia. Aquesta informació es pot fer servir per fer més senzill el procés de classificació.

5.3.- Breu història

El treball sobre el reconeixement dels senyals de trànsit té l'origen al Japó als voltants dels '80 i té com a objectiu detectar objectes en espais oberts (no necessàriament senyals de trànsit). Des d'aleshores, s'han aconseguit molts resultats. Una de les innovacions més remarcables, l'ha dut a terme l'empresa Opel amb el fabricant Hella, al desenvolupar un sistema que, a través d'una càmera de mida similar a un telèfon mòbil, i dotada d'un objectiu gran angular d'alta resolució, pot detectar senyals de límit de velocitat a 100mts de distància.

5.4.- Metodologia

La identificació de senyals de trànsit es divideix en dos grans blocs:

- Detecció del senyal.
- Classificació/reconeixement del senyal.

En la fase de **detecció**, la imatge és processada, (tractada amb ampliacions, segmentacions, etc) seguint diferents criteris de reconeixement (ja siguin els colors, o una forma concreta). Aquesta fase tracta la imatge. El que fa és buscar zones que puguin ser reconegudes com a possibles senyals de trànsit. L'eficàcia de l'algorisme triat esdevé bàsica, doncs la rapidesa amb la que un senyal és detectat és un punt fonamental. Per això, és important que l'algorisme de recerca es centri només en determinades regions. La sortida de la fase de detecció és una llista d'objectes que probablement són senyals de trànsit. La figura següent mostra una imatge d'un entorn amb condicions dificultoses de visibilitat.



Fig. 48: Detecció en males condicions de visibilitat.

En la fase de **reconeixement**, cada àrea candidata a ser senyal de trànsit (figura 49) és comparada amb un model de referència, un patró de mostra que, depenent del resultat, decideix si la regió estudiada forma part o no dels senyals de trànsit. Una vegada s'accepta que és senyal, es mostra per pantalla. En aquesta etapa, la forma dels signes juga un paper molt important, doncs en funció d'aquests, els senyals es classifiquen en triangles, rectangles, octògons i cercles. Una vegada està feta aquesta primera selecció, ja es pot procedir a fer l'anàlisi pictogràfic, que permetrà una classificació més precisa. Amb aquest anàlisi i la informació disponible a l'interior del senyal, es pot decidir de quin senyal es tracta.



Fig. 49: Reconeixement del senyal.

Val la pena comentar que la tasca més difícil del sistema, és la de localitzar el senyal dins la imatge. Això vol dir que una vegada es sàpiga quina àrea concreta és senyal de trànsit, analitzar el contingut del seu interior no serà una tasca tan complexa com la que és localitzar-la. Això és així degut a què les lletres i els números tenen la mateixa forma, segueixen un patró predefinit i estaran plasmats en llocs de característiques definides prèviament. Per exemple, un senyal de limitació de velocitat com el de la figura superior, sempre tindrà el fons de color blanc, una mida predefinida i una forma concreta. Aquest fet és aplicable a tots els senyals i ens facilitarà la tasca d'identificació. El fet d'aplicar un model d'identificació estàndard redueix l'anàlisi de l'entorn, fet que evitarà emprar recursos i temps en esbrinar informació.

És necessari disposar d'una base de dades que emmagatzemi mostres precises de cada senyal de trànsit. D'aquesta manera, el sistema pot comparar els candidats a senyals amb senyals reals i decidir o descartar la hipòtesis.

Per reduir el tamany de la base de dades d'imatges patró i, per tant, reduir el temps de recerca dels candidats a ser senyals de trànsit, es pot fer, previ al reconeixement, una classificació dels senyals (els senyals presos de la imatge i els senyals patró) en funció del seu color i forma.

Tenim doncs que el sistema pot ser implementat a través de la informació dels colors, a través de la informació de la forma i, de manera més fiable, a través de la unió d'ambdós mètodes. No obstant, cal remarcar que la selecció i reconeixement de senyals també es podria arribar a dur a terme amb cada mètode per separat, tot i que de fer-ho així, serà complicat arribar a trobar els resultats esperats de forma ràpida i eficient.

Color i forma són característiques visuals dominants dels senyals de trànsit que serveixen per diferenciar-les, i són factors clau per poder entendre la informació que volen transmetre al conductor mentre condueix. Per tant, a l'hora de desenvolupar un sistema d'assistència al conductor per reconèixer senyals de trànsit, aquesta informació serà emprada de manera efectiva i eficient.

També cal tenir en compte l'espai i situació que un senyal ocupa en la imatge. Si suposem que la carretera és aproximadament recta, o que quan la càmera captura un senyal, aquest sempre apareix en un lloc estàndard de la imatge, es pot fer una reducció de la imatge i analitzar tan sols la part que més probabilitats té d'incloure un senyal.

La figura 50 mostra com es podria dividir una imatge per establir una àrea de selecció concreta.



Fig. 50: Mostra d'una carretera on es podria analitzar solament una part (la dreta).

Si a aquest fet, se li afegeix que la informació de color pot filtrar encara més zones, les probabilitats de trobar un senyal en la imatge seran més altes. Ara bé, aquests propòsits poden no ser vàlids en carreteres irregulars com, per exemple, de corbes. Per tant, trobar una aproximació més completa de l'entorn, permetrà augmentar la probabilitat d'encert. Un exemple d'això es pot trobar en l'espai que ocupa el cel i el que ocupa la carretera. Si tenim en compte que el cel sol tenir colors força característics i diferents als dels senyals, i que el mateix passa amb la carretera, podem aplicar a la imatge una reducció de l'àrea a inspeccionar en funció de la superfície que puguem eliminar d'aquests dos elements. No obstant això, aquest fet és inadequat per espais amb força desordre com podrien ser els carrers d'una ciutat. Aquest fet, però, ens pot suggerir que tenint en compte la bidireccionalitat de bona part de les vies, i que els senyals apareixen a un costat, el treball en la imatge es pot reduir a analitzar solament una de les dues meitats de la carretera. Aquest fet, però, s'ha de descartar en vies on hi hagi senyals a ambdós costats.

Degut al complex entorn de les carreteres, els senyals de trànsit es poden trobar en entorns molt variats. Per tant, la seva detecció i reconeixement serà més o menys difícil en funció del que els envolti.

5.5.- Dificultats reals

El color dels senyals canvia en funció del temps. La meteorologia adversa, els agents erosionadors, o llargues estones d'exposició a la llum solar fan que els senyals es descoloreixin amb el pas del temps (figures 51 i 52). Aquest fet, unit a les no sempre favorables condicions de visibilitat (factors com la boira, la pluja o la neu fan que els colors dels senyals es modifiquin), o els canvis en la quantitat de llum en funció de l'hora, el lloc on estan situades i els objectes externs que hi puguin influir (fent ombra, per exemple), fan que la visibilitat dels senyals es vegi molts cops afectada.

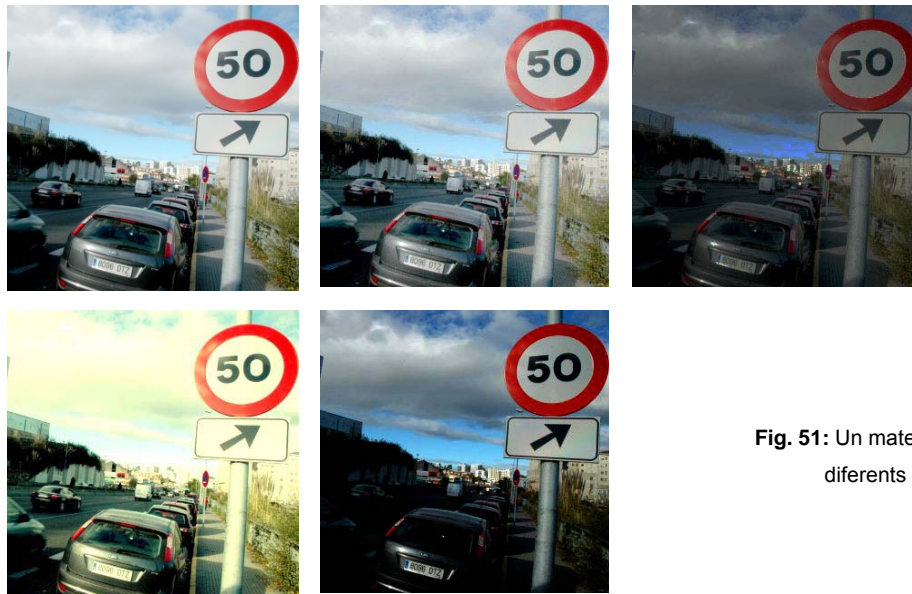


Fig. 51: Un mateix senyal amb diferents il·luminacions.



Fig. 52: Exemple de senyal desgastat pel pas del temps.

Igualment, cal remarcar que el color de la informació del senyal també es veu afectat de manera molt sensible per la diferent llum que hi ha en funció de l'hora del dia, l'angle d'incidència d'aquesta sobre el senyal, o l'angle des del qual prenem la imatge dins el cotxe. Un altre factor que dificulta la visibilitat dels senyals és la més que probable presència de vianants, edificis, arbres, etc. al voltant del senyal i que, amb ombres o obstruint-la, dificultin la seva visualització o n'alterin la il·luminació (figura 53).



Fig. 53: Exemples de senyals amb dificultats per ser vistos.

També cal fer esment que a la via es troben objectes amb formes i colors similars, com poden ser altres cotxes, anuncis, arbres, etc. que, sense ser senyals i segons el mètode emprat per a localitzar-les, poden fer confondre el sistema localitzador. Igualment, els senyals poden haver estat víctimes d'accidents o d'actes de vandalisme (figura 54) que facin que no estiguin situades amb la "típica" orientació frontal respecte el vehicle o que fàcilment estiguin trencades.



Fig. 54: Exemples de senyals amb desperfectes físics.

Aquest fet, junt al que la càmera prengui la imatge des d'un angle imprevist, poden suposar un contratemps a l'hora de reconèixer de manera correcta el senyal en qüestió. Igualment, la distància des de la que es pren la imatge jugarà un paper important a l'hora del reconeixement del senyal, doncs en funció d'aquesta la mida del senyal canviarà, i disposarem de més o menys temps per dedicar al processament. Un altre fet contrari poden ser les vibracions que pateix el cotxe, que poden fer que la imatge capturada no sigui nítida i que dificulti la correcta localització del senyal en la imatge capturada.

Encara que els senyals apareguin al marge de les carreteres, aquests poden estar situats a l'extrem oposat del que passa el cotxe. Per exemple, en una via amb més d'un carril de circulació, es podria donar un cas. O també pot succeir que el senyal estigui proper a una incorporació o sortida de la via. A més, tot i que els senyals estan a una distància estàndard respecte el terra, també pot ocórrer que degut a factors temporals (obres, etc.) estiguin situats a una distància anormal. Degut a aquest fet, no és fàcil restringir les possibles posicions d'un senyal a unes distàncies estàndards dins una imatge. Si es fes un modelatge de la carretera,

seria possible trobar punts de la imatge en els que un senyal no pot aparèixer, però modelar l'entorn implica un cost computacional molt elevat, fet que fa dubtar de l'eficàcia i optimització del mètode. No obstant això, les carreteres es construeixen seguint uns estàndards i tenen unes normes clares. Els senyals han d'aparèixer en punts concrets, llocs estratègics i seguir uns patrons fixats. Han de ser d'unes mides predefinides (per exemple, els senyals circulars són de 90cm de diàmetre, els quadrats, de 90cm de costat, els senyals ortogonals tenen 90 cm entre costats oposats, i els rectangulars són de 90 X 135 cm), tenir uns colors concrets i unes formes definides prèviament pels senyals individuals. A menys que el senyal sigui o s'hagi tornat defectuós, ha d'estar col·locat aproximadament perpendicular respecte la horitzontal i orientat frontalment al sentit de la circulació. Finalment, els signes van col·locats a llocs de fàcil visió pel conductor (per evitar-li desviar l'atenció en la mesura del possible). Si es parteix de la base que els senyals apareixen perpendiculars a la horitzontal i en visió frontal respecte el conductor, s'ha de donar a la càmera una visió també frontal de la imatge a capturar. En carreteres ràpides i virades, és probable que el senyal i la càmera només tinguin visió frontal entre ells un petit instant, quan el vehicle estigui molt a prop del senyal. Aquest fet, implicarà que el tamany del senyal apareixerà en la imatge capturada en una proporció més grossa del normal. El fet que el senyal es pugui visualitzar de manera correcta, vindrà determinat per la quantitat de fotogrames que es processin per segon.

Per tant, a l'hora de dissenyar un bon detector de senyals, s'han de tenir en compte varis factors.

- El primer, és que el detector ha de tenir un bon poder discriminador i un baix cost computacional.
- En segon lloc, ha de tenir un bon sistema de detecció de formes geomètriques i capacitat d'anàlisi de posició del senyal per detectar en quina posició es troba, el tamany i la posició de la imatge dins el senyal.
- Tercer, ha d'incloure un mètode d'eliminació del soroll que pugui aparèixer a l'hora de capturar la imatge.
- Quart, el reconeixement ha de ser mostrat ràpidament quan es necessiti en aplicacions a temps real. A més, el sistema ha de saber quin senyal dels que té com a model ha de fer servir en cada cas en funció de la classificació.

5.6.- Mètodes basats en la detecció de formes

5.6.1.- Introducció

Una alternativa a l'ús dels colors (s'estudiarà seguidament), és la detecció de senyals de trànsit en funció de la forma (figura 55), doncs és un mètode fiable per la detecció i reconeixement de senyals.



Fig. 55: Representació aproximada del detector de senyals en base la forma.

Un dels punts importants a favor del reconeixement de senyals depenent de la seva forma, és la falta d'un estàndard comú de colors vàlid per a tots els països. Com es pot veure en la figura següent, senyals amb un mateix significat poden ser diferents segons el país on es trobin.



Fig. 56: Senyals amb un significat comú però diferents codis de colors.

Un altre punt a favor és que la forma, a diferència dels colors i la seva reflectància, no varia al llarg del dia. Per tant, en situacions en les que sigui complicat veure el color del senyal (boira, pluja, neu, fosc, brutícia, deteriorament dels colors...), la detecció per mitjà de la forma pot ser una bona alternativa. Aquest mètode, per tant, té força avantatges. Ara bé, també té inconvenients. Objectes a l'entorn de les vies públiques n'hi ha molts. Una part d'ells, a més, presenten formes molt similars als senyals de trànsit. Bústies, finestres, anuncis o cotxes, poden ser-ne exemples molt clars. Igualment, els senyals poden estar amagats total o parcialment, fets malbé o trencats. També s'ha de tenir en compte que els senyals no sempre estaran orientats en el sentit de la circulació, sinó que poden haver-hi errors en l'orientació vertical o horitzontal dels senyals. Un altre punt al que cal fer esment, és la distància del senyal respecte

la càmera. Quan aquesta distància varia, el tamany del senyal també ho fa, i si el senyal és massa petit, probablement serà irreconeixible. També cal contemplar l'angle des del que és capturat el senyal. Si aquest no és frontal, el senyal serà també diferent. Ara bé, la detecció del senyal no es veurà afectat pels canvis de color durant el dia o els fenòmens meteorològics si bé és veritat, no obstant, que per detectar les formes dels senyals els algorismes i les màquines de detecció són força més robustos.

5.6.2.- Detecció de candidats:

El primer que cal fer és crear “una plantilla”, una base de dades amb patrons dels senyals de trànsit. Això és una tasca senzilla, doncs tots els senyals segueixen uns patrons geomètrics regulars com poden ser cercles, rectangles, octògons o triangles. Aquesta figura il·lustra possibles formes diferents per a senyals de diferents significats.



Fig. 57: Exemples de senyals de diferents formes.

Normalment, un model de polígon convex es pot fer servir per filtrar senyals triangulars, rectangulars o octogonals, i una el·lipse pot servir per a filtrar senyals circulars. És per aquest motiu que si es descompon el contorn global de la imatge en petites regions (figura 58), aquestes ens poden ajudar a trobar la forma resultant conjunta final.



Fig. 58: Descomposició d'un contorn en diversos sub-contorns.

La descoberta de candidats comença tallant el contorn seguint el patró del contorn original. A continuació es descomponen els talls fets en regions convexes, i se sabrà si són o no convexos quan el polígon complet amb el segment mancant sigui Convex Hull. El resultat

d'aquest conjunt d'operacions és que la unió de tots els sub-segments ens donen la cadena inicial, i que les diferents sub-cadenes són regions convexes.

És igualment cert, que actualment es disposa d'algorismes eficients i de ràpida resposta que s'empren per a trobar simetries radials. En particular, es poden fer servir per a detectar cercles i, per tant, senyals de velocitat contingudes en una imatge presa, per exemple, des de dins el cotxe. Si es generalitza i modifica el mètode de busca, aquest es pot fer extensiu per a la localització de triangles, rectangles i octògons d'una manera suficientment ràpida i que contempli el processament de varis frames per segon.

El fet que tots els senyals segueixin patrons geomètrics ens facilitarà la feina en el sentit de que els algorismes sobre els que es treballarà buscaran figures amb el número de costats i els angles iguals. No obstant, el número de costats variarà, des de tres (triangle) fins a infinit (cercle), igual que l'obertura de l'angle.

Una altra manera de detectar formes en imatges és aplicant la transformada de Hough. Fent una binarització de la imatge i filtrant-la amb base a regions definides, tindrem com a resultat les regions de la imatge d'un valor predeterminat. Ara bé, degut a les condicions de les carreteres les regions trobades sovint es confonen amb altres àrees que no corresponen a senyals i que ocasionaran molts candidats falsos. S'han de buscar millores al sistema per aconseguir la detecció i selecció correcta dels candidats. És igualment cert que els algorismes que es basen en la transformada de Hough són força complexos a nivell computacional, i poden arribar a trigar varis segons per a reconèixer una forma concreta.

Alguns algorismes treballen en base l'exploració de formes trobades al voltant d'un punt central. Això els fa robustos i amb possibilitats de perdre píxels degut a la manca de contrast o el prendre una direcció incorrecta respecte el punt central sobre el que treballen. Aquests sistemes depenen de paràmetres definits prèviament, i poden ser aplicats fàcil i eficientment en situacions on les restriccions estan disponibles des del moment en què el sistema de visió captura la imatge. Solen ser molt potents a l'hora de tolerar canvis en la il·luminació una vegada detectada la forma a buscar i reduiran eficaçment la recerca d'un senyal de circulació de la imatge sencera a una número de píxels més reduït. No obstant, és un mètode que pot esdevenir molt robust, doncs si el punt central al voltant del qual exploren està mal pres, els resultats mai arribaran a detectar possibles candidats.

Després de fer el procés esmentat, s'obté com a resultat un gran número de regions convexes les quals han de ser manipulades per a descartar les que no compleixin les propietats de ser senyal de trànsit. Ara bé, quines de les regions són bones candidates? Doncs d'entrada, el que es pot descartar són totes aquelles regions que tenen els contorns excessivament llargs. D'altra banda, una bona condició podria ser triar tan sols els talls que tinguin simetria (o possible simetria).

5.6.3.- Classificació de candidats

Per detectar i classificar diferents tipus de senyals, es fan servir varies etapes diferents, especialment quan s'han de separar un gran número de formes.

Quan es tenen els primers candidats, es procedeix a fer una primera classificació. Això s'aconsegueix fent una selecció idònia dels candidats pre-seleccionats respecte uns patrons de models geomètrics (triangle, rectangle, cercle, octògon, etc.) El model es basa en triar el patró que més s'assembli a la forma original. Això vol dir que si tenim un model que encaixa de manera notable amb una el·lipse, s'acceptarà com a referència a l'hora de buscar senyals circulars doncs clarament no encaixarà amb un senyal, per exemple, rectangular.

5.7.- Mètodes basats en la detecció de colors

5.7.1.- Introducció

Després d'analitzar la detecció de senyals de trànsit en funció del contorn, s'ha pogut veure que a part d'avantatges, també té inconvenients. En primer lloc, per fer-ho es necessitarà una màquina força potent i un bon algorisme que permeti detectar formes dins la imatge. Això es complica quan els senyals de trànsit apareixen en tamany reduït dins la imatge, o quan les càmeres que es fan servir no tenen una bona resolució. Igualment, una vegada es tinguin les possibles formes que s'assemblin a les d'un senyal localitzat, s'ha de constatar que realment es tracta de senyals, i no d'objectes similars.

Paral·lelament, els senyals de trànsit fan servir colors per mostrar la informació que ha d'arribar als conductors. És per aquest motiu que els colors poden ser una important font d'informació en la detecció i posterior reconeixement dels senyals de circulació. A més, el fet que diferents colors mostrin diferents advertències, perills, etc. ens ajuda i pot simplificar la feina a l'hora d'identificar els senyals. Ara bé, és cert que cada país té la seva regulació respecte al color de cada senyal, per tant, caldrà dissenyar algorismes específics que controlin cada senyal de manera individual.

5.7.2.- Segmentació d'imatges en funció del color

Segmentar una imatge significa tallar-la i dividir-la en sub-imatges. Segmentar-la en funció del color, significa que cada sub-imatge contingui porcions triades de color respecte la imatge principal (figura 59).



Fig. 59: Exemple d'una imatge segmentada per colors.

No obstant, per reconèixer un senyal de trànsit dins una imatge extreta del món real durant la conducció, cal tenir en compte a l'hora de segmentar, que hi pot haver més d'una part de la imatge segmentada que sigui senyal de trànsit. Per tant, caldrà segmentar tenint en compte que pot contenir més d'un senyal, o un senyal en més d'una imatge. Ara bé, com que degut a les diferents condicions de lluminositat els colors varien durant el dia, s'han d'aplicar models de tractament del color a la imatge principal per dur a terme la segmentació de la manera més correcta possible.

Una càmera situada dins un cotxe ens donarà una imatge processada en l'espai de colors RGB (Vermell – Verd – Blau). Aquesta imatge, en molts casos no és adequada per la detecció de senyals en color, doncs per treballar sobre un espai de colors RGB, cal muntar-los sobre un eix de coordenades cartesianes de tres components (X, Y i Z) on, cada component, representarà un dels tres colors. Aquests tres colors estan altament relacionats, el que significa que qualsevol variació en la intensitat de la llum ambient afectarà el sistema RGB, fent moure el grup de colors cap a la cantonada blanca o la negra. Per aquest motiu, la conversió del color en l'espai pren una gran importància en la detecció de senyals en funció del color. Aquest fet, significa convertir el format de la imatge RGB en un altre format que simplifiqui el procés de detecció i el faci menys sensible a canvis. Per fer-ho, s'ha de separar la informació de brillantor de la informació de color de la imatge, convertint l'espai RGB en un altre espai de color que permeti una bona detecció depenent del senyal d'entrada del color.

A la figura següent es pot veure una mateixa imatge amb diferents tons de brillantor:



Fig. 60: Exemples d'una imatge amb diferents tons de brillantor.

Hi ha varis espais de color vàlids per a dur a terme aquesta tasca, però l'espai de color HSI "Hue-Saturation-Intensity" o traduït "Tonalitat-Saturació-Intensitat" és el més utilitzat en la detecció de senyals, doncs és el que millor fa la tasca anteriorment descrita. De totes maneres, el tractament i anàlisi del color en temps real fa que tractar la imatge que es rep directament sense haver de canviar d'entorn ens faciliti una despesa de temps considerable.

Un cop es disposi de la imatge, el primer que caldrà fer serà buscar l'escala de color correcta. Els colors que es solen emprar en senyals de trànsit solen ser Vermell, Blau, Negre i Blanc. Les imatges preses del món real, s'analitzen i processen per a trobar els rangs de color idonis amb diferents condicions de visibilitat (diferents tipus de llum). Si prèviament s'ha creat un conjunt representatiu de senyals de circulació que s'hagin classificat en funció de la seva visualització amb diferents condicions ambientals (boira, pluja, neu...) i, posteriorment, hagin estat analitzades per treure'n dades que puguin ser útils a l'hora d'avaluar la variació de llum a cada píxel, es podrà ser més precís a l'hora d'aplicar el model per tractar el color d'una manera més fiable. Els models d'aproximació del color real es transformen passant d'un espai RGB a un LCH (Lluminositat, Intensitat cromàtica i Matis), fent servir models d'aproximació del color. Els valors de lluminositat són similars pels senyals vermells, blaus i els fons de les imatges, per aquest motiu només es fan servir mesures de tonalitat i Chroma a l'hora de segmentar una imatge.

Un bon mètode per analitzar la imatge serà fer servir l'algorisme Quad-tree. Aquest algorisme té l'avantatge de poder localitzar canvis en les característiques d'una imatge durant la segmentació, fet que col·laborarà a descartar possibles candidats falsos a senyal de trànsit. Els algorismes Quad-tree impliquen dividir la imatge recursivament en quadrats fins que tots els elements siguin homogenis o fins a una mida predefinida. En aquest punt es crea un histograma per a cada sub-regió de la imatge per comprovar que cada regió és del color desitjat. Es tindrà, aleshores, la imatge segmentada i dividida amb els diferents colors buscats. Seguint aquest mètode de filtratge, és freqüent que zones de la imatge com llums de cotxe vermells, o objectes de colors similars als dels senyals apareguin com a candidats a senyals. Valdrà la pena, doncs, aplicar un segon filtratge basat en la forma per descartar els falsos candidats.

Per fer anàlisis de les imatges en funció del color, és necessari conèixer una de les opcions que donen les nombroses eines disponibles. Una d'elles, es mostra a continuació. A la figura següent es mostra una fotografia d'un senyal de "stop" i una gràfica que indica el perfil dels tres components principals en aquest.



Fig. 61: Senyal a la que s'aplicarà l'anàlisi píxel a píxel dels colors.

La gràfica (figura 62) s'extreu de mirar el color que passa "per sota" de la línia dibuixada a la fotografia adjunta analitzant-la píxel a píxel. Es poden veure clarament 3 zones ben diferenciades. A les zones que delimiten el senyal, per tant predomina el blanc, veiem que els tres colors ocupen un rang similar. En canvi, la resta de senyal, on predomina el color vermell, veiem que és aquest color el que pren un valor superior al de les components G i B.

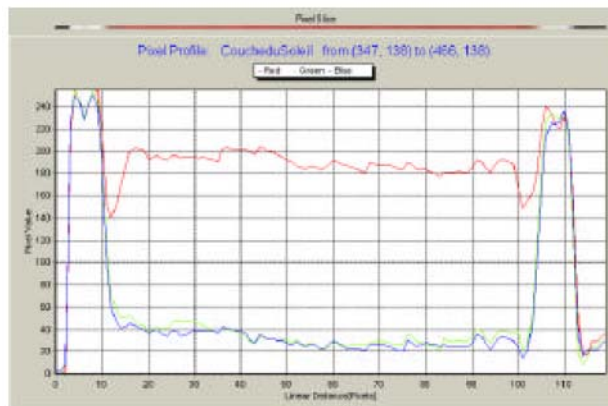


Fig. 62: Gràfic resultant de l'anàlisi píxel a píxel de la imatge anterior.

Això, no obstant, és el resultat d'analitzar el color d'una àrea determinada en una hora concreta, per tant, s'ha de dur a terme el mateix anàlisi durant les 24h d'un dia (figura 63) per veure com varia la intensitat de cada component de color. Aquest estudi està reflectit en la gràfica següent.

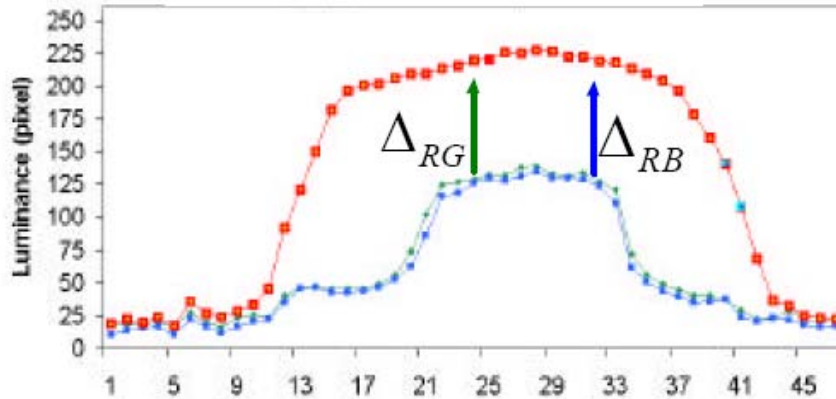


Fig. 63: Luminància de cada color en funció de les hores del dia.

En ella es pot observar que tot i que la llum del dia canvia degut a què les hores avancen, hi ha una diferència entre la component vermella del senyal i els altres dos. D'aquesta manera, es pot arribar a la conclusió que és factible establir un llindar que ens permeti diferenciar cada tipus de color en funció d'un rang concret que depengui de l'hora del dia. Sabent això, i creant un algorisme que permeti fer el filtratge de colors en funció del seu llindar, es pot pensar que trobar un color dins una imatge és factible. Caldrà afinar bé els valors de cada component per poder fer un filtratge adient i, també, saber quins components s'hauran de triar per definir el color exacte a filtrar.

5.7.3.- Variacions de color en imatges d'exterior

Un dels problemes amb més difícil solució quan tractem les imatges d'exterior, és la variació cromàtica de la llum del dia. Aquesta variació es pot veure reflectida en la variació dels colors de l'objecte en funció dels canvis de llum del dia. L'efecte de la llum sobre una imatge a color depèn de 3 factors:

A) Color, intensitat i posició de la font lluminosa

El color de la llum del dia varia al llarg de la corba característica del model CIE. Hi ha equacions que representen la corba mencionada en funció de paràmetres variables que ens permeten veure l'evolució de la corba esmentada. La conclusió que es pot treure fruit de treballar amb base les equacions del model CIE és que la variació de la llum del dia es pot expressar en funció d'un paràmetre anomenat "temperatura de color".

B) Les propietats reflectants de l'objecte

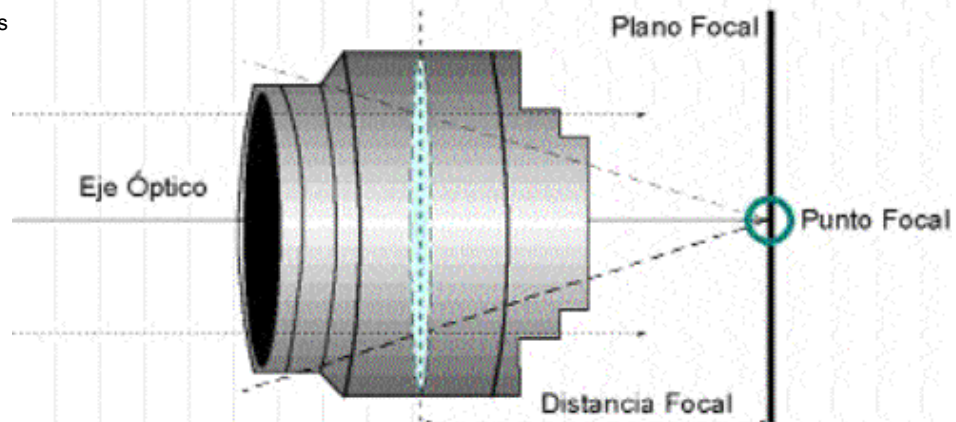
La reflectància d'un objecte és una funció definida per dos paràmetres: la intensitat de la llum amb una longitud d'ona concreta (λ) i la funció de l'albedo (capacitat de reflexió) de l'objecte. Ara, si bé és cert que aquest model no té en consideració efectes d'interreflexions, ombres, o altres peculiaritats, si que és cert que és el model de treball disponible més fiable.

C) Les propietats de la càmera

Quan tenim la radiància d'un objecte, la precisió de la captura depèn del diàmetre de la lent, de la distància focal, i de la posició de la imatge respecte l'objecte tenint en compte l'angle des de l'eix de l'òptica.

A la figura següent es mostren algunes de les característiques físiques dels objectius de les càmeres de fotografiar convencionals. No obstant, els conceptes serveixen igualment per a tots tipus de càmeres.

Fig. 64: Característiques d'un objectiu de càmera de fotografiar.



L'equació que contempla aquests paràmetres es diu "equació d'irradiació estàndard", i mostra que la radiància és multiplicada per una funció constant que depèn dels paràmetres de la càmera. Cal apuntar que els colors de l'objecte no afecten aquest procés, doncs si s'assumeix que l'alteració cromàtica de la lent de la càmera és negligible, només afectarà al procés la densitat de la llum observada.

En resum, el color de la llum que es reflexa en un objecte situat a l'exterior ve en funció de la temperatura de la llum del dia i de l'albedo de l'objecte; i la irradiància observada és la llum reflexada a la superfície posada a escala a través de l'equació d'irradiació.

Estudiar la variació dels colors dels senyals des de l'alba fins la nit també pot ser un fet que ajudi a l'hora de detectar les variacions en la il·luminació dels senyals. Es pot arribar a pensar que crear una base de dades amb les variacions dels colors dels píxels en funció de la intensitat de color, pot ajudar a reconèixer amb més facilitat els senyals. No obstant, aquest és un fet excessivament laboriós i, per tant, en certa mesura no es pot considerar viable.

5.7.4.- Constància del color

La constància del color representa l'habilitat d'un sistema de visió per reconèixer els colors reals d'un objecte dins un rang de colors que varien en funció dels factors externs a l'objecte, com poden ser les diferents llums del dia. Això significa que els algorismes de constància de color tenen com a objectiu generar unes pautes d'il·luminació independent dels rebuts de l'escena (i mesurats en escala RGB).

La constància de color és un punt important en el tema de la detecció i reconeixement de senyals de trànsit. No obstant, varis estudis demostren que els algorismes de constància de color no són prou fiables pel reconeixement d'objectes basat en el seu color. Degut a això, s'ha d'investigar i desenvolupar nous algorismes que donin millors resultats, o fer més fiables els algorismes ja existents.

5.7.5.- Selecció de candidats en funció de la informació cromàtica

Els colors dels senyals estan fixats en funció d'estàndards d'informació cromàtica. Conseqüència d'aquest fet, pot ser que seguir els estàndards de la informació cromàtica dels senyals pugui ajudar a fer un bon filtratge dels objectes de la imatge que puguin ser senyals de trànsit. Trobar la intensitat lluminosa d'una imatge RGB pot servir de filtre a l'hora de triar els possibles candidats a senyals i, a continuació, afegir la informació del color gradualment, com si es treballés amb capes. Per exemple, per afegir la imatge binària vermella (només colors vermells i blancs), s'han de buscar tots els components de la imatge en el que el color vermell sigui major que el verd i alhora també major que el blau. Per als altres colors, s'ha de fer el mateix procés però filtrant el color a buscar i, així, s'aconseguirà la imatge inicial descomposta amb capes de colors. Una vegada siguin efectives les diferents composicions de color, s'aplica l'operador opening per eliminar les petites partícules aïllades. Extremes les imatges de color binàries, aquestes han de ser contrastades amb possibles parts d'imatge que siguin candidates. Per a fer-ho, s'ha de sobreposar una imatge de color binària amb una que tingui possibles candidats a senyals de trànsit, com per exemple les resultants dels mètodes de detecció a través de formes. Si per a cada àrea seleccionada fruit d'aplicar algorismes de detecció amb formes, es sobreposa la corresponent imatge binària del color corresponent, es confirmarà en un percentatge molt alt que tenim un senyal. En cas contrari es descartarà.

5.7.6.- Distribucions Gaussians per modelar la intensitat dels píxels

Un mètode que també dona bons resultats a l'hora de detectar senyals es fonamenta en distribucions Gaussians per modelar el color en l'espai CIELab. Es tracta de combinar la segmentació i el seguiment, obtenint resultats en temps real.

Els resultats computacionals, mostren que aquest mètode pot detectar senyals il·luminades amb diferents condicions de llum exterior, amb la presència d'obstacles com cotxes o arbres que les ocultin parcialment, i amb el desenfocament originat pel moviment i les vibracions del vehicle.

Per detectar i classificar els senyals, el primer que es fa és convertir l'escala de colors RGB a una escala CIELab. La fase de segmentació, fa servir una mescla de 3 models gaussians per a distingir els colors de cada senyal. Aquests models, s'actualitzen després de l'execució de l'algorisme de segmentació per tal de millorar la discriminació en la tria de senyals respecte el fons en cada fase. Després de classificar els candidats per un número determinat de frames, l'algorisme de segmentació s'executa de nou per obtenir més informació sobre el senyal de trànsit analitzat. Això ajuda a trobar possibles canvis per oclusió o de mida dels senyals.

Un dels mètodes a emprar per a separar els senyals de trànsit dels seus fons és emprar models Gaussians. Es fa servir un espai de color com el CIELab, que mesura la similitud entre la reproducció d'un color, respecte l'original quan és vist per l'ull humà. En aquest espai, cada píxel té una il·luminància (L) i dos components cromàtiques. L'objectiu és crear un sistema que sigui sensible als colors, però invariant als canvis d'intensitat lluminosa emprant, solament, la component de lluminància.

Els models Gaussians s'han aplicat successivament per a la detecció automàtica d'objectius mòbils fent servir informació del color. Tradicionalment, aquests mètodes modelen el color del fons d'una imatge donada. Per aquest motiu, tot el que és suficientment similar al model visionat pot ser considerat com a part del fons de la imatge. Els resultats es milloren en cada etapa emprant algorismes que actualitzin els nous valors mitjans de les distribucions.

A diferència d'altres models que modelen els fons de les imatges, en el que ens volem fonamentar és en fer servir una mescla de distribucions Gaussians per a modelar cada color del senyal, on cada patró de distribucions Gaussians consisteix en tres models gaussians. El mètode està definit per tres fases:

A) Inicialització Gaussiana

Un model gaussià consisteix en un valor mitjà i una matriu de covariància. En aquesta fase es calculen els valors inicials d'aquests paràmetres fent servir un conjunt de patrons d'imatges. Cada model de la mateixa imatge és tractat fent servir patrons amb excel·lent, regular i males condicions d'il·luminació respectivament.

B) Generació del model

En un model Gaussià, cada píxel és modelat amb una sola distribució de probabilitat que té en compte el seu valor mitjà i la matriu de covariància a cada fotograma. Els píxels de colors similars als de la distribució del fons es classifiquen com a colors del fons, mentre que aquells que la seva distribució sigui diferent a la del fons són classificats com a píxels adquirits o de primer pla.

Per millorar la precisió del detector, es pot fer servir un model multi modal en el que la probabilitat d'observar el color actual d'un píxel es calcula utilitzant una mescla de varies distribucions múltiples independents. Enlloc d'especificar explícitament el valor dels colors dels senyals, s'han d'imposar al sistema uns valors particulars (corresponents als dels senyals) els quals buscar. En aquests casos, si la probabilitat és superior a un llindar predefinit, es classifica el píxel com a part d'un senyal de trànsit.

C) Detecció de l'objectiu

En aquesta fase, per a cada píxel d'una imatge donada, busquem la diferència entre el valor del píxel modelat i el valor del píxel real. Una petita diferència significa que el píxel analitzat formi part d'un senyal, mentre que si la diferència és gran, veurem que el píxel no en forma part. En aquest moment, és suficient si un model de la distribució genera un valor similar per a considerar-lo com a part del primer pla. Els píxels etiquetats com a primer pla (els seleccionats a candidats a senyal), s'agrupen fent servir components connectats creant regions d'interès que es faran servir posteriorment pel seu seguiment.

Del pas anterior s'obté un vector d'estat que ens dona la posició i el tamany de cada objectiu. Per a fer un seguiment temporal del conjunt d'objectius, es farà servir un mètode que té 3 fases:

- **Inicialització**

Després de la fase de detecció d'objectius, el vector resultant emmagatzema la posició i el tamany dels objectius a temps "t". En aquesta aproximació, es generen aleatòriament un conjunt de N coordenades de posició que preveuran la posició de l'objectiu al temps t+1. L'estimació de la posició dels objectius al temps t+1 es defineix per una equació que contempla, entre altres paràmetres, la velocitat. La velocitat a la que es captura la imatge on buscar l'objectiu pot ajudar a millorar la predicció, però l'algorisme de detecció no pot calcular aquest paràmetre, per tant, a la primera iteració es calcula la següent posició utilitzant una velocitat igual a zero. Després d'aquesta primera fase de seguiment, la velocitat a la que són capturats els píxels objectius es calcula com la diferència entre les posicions en el temps t i t+1.

- **Observació**

En la fase d'observació, es calculen les semblances entre cada objectiu i les seves possibles posicions predites resultants d'aplicar el mètode de correlació simple que treballa en escala de grisos. Utilitzem imatges en escala de grisos enlloc d'imatges en l'espai CIE-Lab degut a què els resultats en ambdós algorismes és el mateix, però emprant escala de grisos els temps requerits per a buscar la correlació són menors. El resultat d'aquesta fase és un vector que representi la similitud de la posició predita "i" al temps $t+1$ per l'objectiu al temps t .

- **Selecció**

Determinem que la predicció de les posicions conté el seguiment de la imatge en el temps $t+1$. En aquest marc, se seleccionen els valors de correlació més alts que representin les prediccions més similars al senyal objectiu.

Capítol 6: Implementació

Ara que ja es coneixen tots els components del sistema i les seves característiques, és convenient explicar la distribució que tindrà cada dispositiu dins el sistema i el rol que jugarà.

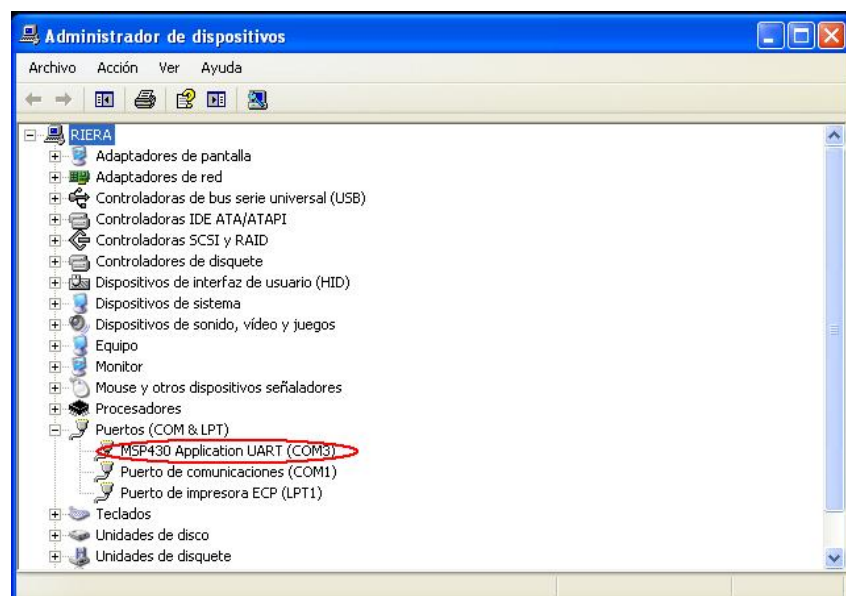
En primer lloc, el dispositiu ED (End Device) actuarà com a emissor de dades i es col·locarà a 50 metres per davant del senyal. Això és així perquè aquest dispositiu té un rang d'emissió d'uns 45 metres. Col·locant el dispositiu a 50 metres del senyal, s'asseguren uns 90 metres de transmissió i, per tant, el vehicle tindrà temps de rebre, processar i mostrar el missatge al conductor. Per fer la demostració pràctica, al ser un sistema a petita escala, l'End Device es col·locarà a una distància suficient a la que es permeti comprovar que el sistema funciona correctament.

Altrament, tindrem l'AP (Acces Point), que serà el receptor del sistema. L'AP serà el coordinador de la xarxa, i la seva missió serà la d'anar rebent la informació que li enviïn els diferents dispositius EDs. Aquest dispositiu és el que anirà situat al vehicle. Quan l'Acces Point rep una dada de l'End Device, segons quin sigui el missatge rebut mostrarà per la pantalla de sortida un senyal o un altre. Aquesta sortida, anirà en funció del codi rebut.

De totes maneres, el que es farà per implementar el sistema en l'estat actual, serà connectar l'AP a l'ordinador i comprovar que funciona acostant i allunyant l'ED. A la realitat el sistema funcionarà al revés, és a dir, el dispositiu mòbil serà l'AP (situat al vehicle), però degut a la complicació que significa moure un ordinador, i donat que l'efecte és el mateix, el dispositiu mòbil pel cas en qüestió serà l'ED.

Quan l'AP es connecta via USB a l'ordinador, s'han de configurar dos paràmetres de dades. El primer que cal fer, és veure per quin port de dades comunica. Això es pot saber consultant l'administrador de dispositius, i veient a quin port està associat el dispositiu (recordar que el dispositiu emprat és l'MSP430 Application UART). A la figura 65 es pot observar que el port "COM3" és el que ha agafat l'AP per enviar i rebre les dades.

Fig. 65: Consulta del port de dades.



Una vegada vist que les dades van a través del port COM3, el que s'ha de fer és configurar així l'hiperterminal, per tal de veure la comunicació rebuda.

Per fer-ho s'executa, i es crea una nova connexió. Una vegada s'hagi nombrat l'aplicació, s'indica el port al que ha d'agafar les dades (Figura 66).

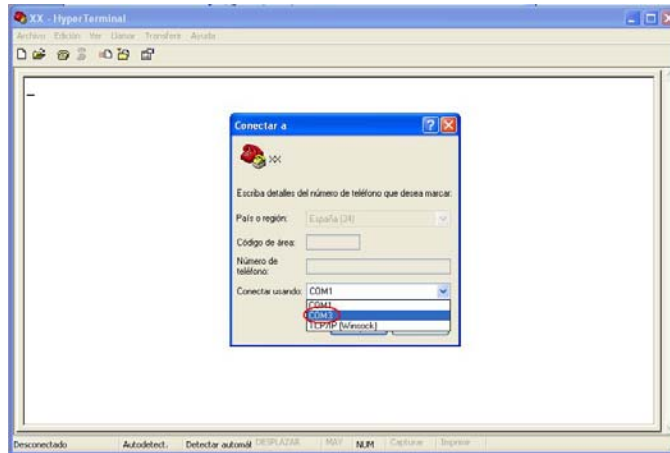


Fig. 66: Mostra de l'elecció del port COM3.

Seguidament, s'ha d'indicar que transmeti a 9600bps, tal com es mostra a la figura 67.

Fets tots aquests passos, ja es pot procedir a compilar el programa, carregar-lo a la placa, executar-lo i veure la sortida a través de l'hiperterminal.

Per fer tots aquests passos, s'utilitzarà l'entorn IAR Embedded Workbench, que ve subministrat amb el kit de desenvolupament.

Com es mostra a la figura 68, la sortida obtinguda és una sortida de dades que segueix un patró coherent i que servirà de referència a l'hora de mostrar per pantalla la velocitat que ens indica l'ED.

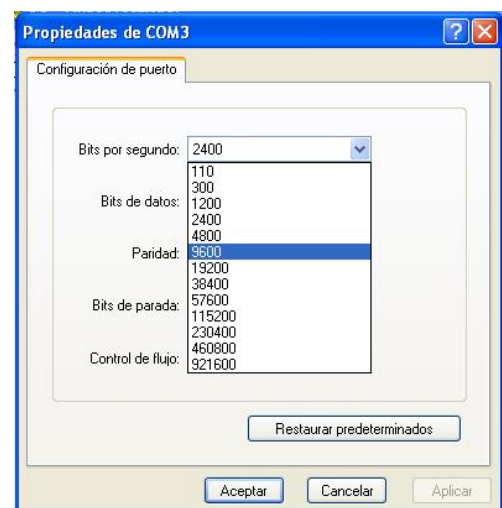


Fig. 67 Velocitats de transmissió del port COM3.

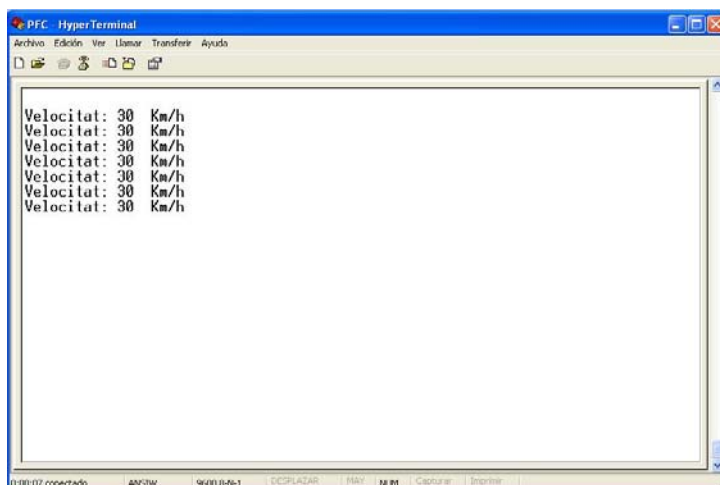


Fig. 68: Sortida de l'hiperterminal.

6.1.- Codis d'execució

Seguidament es mostren les parts dels codis emprades per al reconeixement de les senyals. No es mostra tot el codi, sinó que tan sols es destaca la part de transmissió del missatge.

- **De l'Acces Point**

```
for (i=0; i<sNumCurrentPeers; ++i)
{
    if (SMPL_Receive(sLID[i], msg, &len) == SMPL_SUCCESS)
    {
        ioctlRadioSiginfo_t sigInfo;
        sigInfo.lid = sLID[i];
        SMPL_Ioctl(IOCTL_OBJ_RADIO, IOCTL_ACT_RADIO_SIGINFO, (void *)&sigInfo);
        transmitData( i, (signed char)sigInfo.sigInfo[0], (char*)msg );
        BSP_TOGGLE_LED2();
        BSP_ENTER_CRITICAL_SECTION(intState);
        sPeerFrameSem--;
        BSP_EXIT_CRITICAL_SECTION(intState);
    }
}

/*-----
*   Funció per enviar el missatge a TransmitDataString
*-----*/
void transmitData(int addr, signed char rssi, char msg[MESSAGE_LENGTH] )
{
    char addrString[4];
    char rssiString[3];

    transmitDataString( addrString, rssiString, msg );
}

/*-----
*   Funció per enviar el missatge a TXString
*-----*/
void transmitDataString(char addr[4],char rssi[3], char msg[MESSAGE_LENGTH] )
{
    int temp = msg[0] + (msg[1]<<8);
    char output_velo[] = {"\r\n "};

    output_velo[2] = '0'+(msg[2]/10)%10;
    output_velo[3] = '0'+(msg[2]%10);

    TXString(output_velo, sizeof output_velo );
}

/*-----
*   Funció per mostrar el missatge pel terminal
*-----*/
void TXString( char* string, int length )
{
    int pointer;

    for( pointer = 0; pointer < length; pointer++)
    {
```



```
volatile int i;
UCA0TXBUF = string[pointer];
while (!(IFG2&UCA0TXIFG));    // USCI_A0 TX buffer ready?
}
}
```

- **De l'End Device**

```
while (1)
{
    volatile long temp;
    int volt;

    SMPL_Ioc1( IOCTL_OBJ_RADIO, IOCTL_ACT_RADIO_SLEEP, "" );
    __bis_SR_register(LPM3_bits+GIE);    // LPM3 with interrupts enabled
    SMPL_Ioc1( IOCTL_OBJ_RADIO, IOCTL_ACT_RADIO_AWAKE, "" );

    BSP_TOGGLE_LED2();
    ADC10CTL1 = INCH_10 + ADC10DIV_4;    // Temp Sensor ADC10CLK/5
    ADC10CTL0 = SREF_1 + ADC10SHT_3 + REFON + ADC10ON + ADC10IE + ADC10SR;
    ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC;    // Sampling and conversion start
    __bis_SR_register(CPUOFF + GIE);    // LPM0 with interrupts enabled

    ADC10CTL0 &= ~ENC;

    ADC10CTL1 = INCH_11;    // AVcc/2
    ADC10CTL0 = SREF_1 + ADC10SHT_2 + REFON + ADC10ON + ADC10IE + REF2_5V;
    ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC;    // Sampling and conversion start
    __bis_SR_register(CPUOFF + GIE);    // LPM0 with interrupts enabled
    ADC10CTL0 &= ~ENC;
    ADC10CTL0 &= ~(REFON + ADC10ON);    // turn off A/D to save power

    volt = 90;    // Valor del missatge a enviar
    msg[2] = volt;

    // Envio de dades
    if (SMPL_SUCCESS == SMPL_Send(linkID1, msg, sizeof(msg)))
    {
        BSP_TOGGLE_LED2();
    }
    else
    {
        BSP_TOGGLE_LED2();
    }
}
```

```
BSP_TOGGLE_LED1();  
}  
}  
}
```

- **De l'Applet de Java**

```
public void paint(Graphics g) {  
  
    int go = 0;  
  
    while(go == 0)  
    {  
        String contingut_fitxer;  
        String fitxer_imatge = "imatge_0.jpg";  
        byte b[] = new byte[1024];  
        int i;  
        boolean modified;  
  
        //first we get the modification time  
        File file = new File("./FITXER_TERMINAL_OUTPUT.txt");  
        long modifiedTime = file.lastModified()/10000;  
  
        //current time  
        long currentTime = (System.currentTimeMillis())/10000;  
        System.out.println("It was modified " + modifiedTime);  
        System.out.println("Current time is " + currentTime);  
        System.out.println("File was modified " + ((currentTime-modifiedTime)) + " seconds ago");  
  
        if(currentTime-modifiedTime > 60)  
        {  
            modified = false;  
            fitxer_imatge = "imatge_0.jpg";  
        }  
        else  
            modified = true;  
  
        if(modified)  
        {  
            try {  
                fis = new FileInputStream( "./FITXER_TERMINAL_OUTPUT.txt" );  
            }  
            catch( FileNotFoundException e ) {  
                System.out.println("File not found " + e);  
            }  
            try {  
                i = fis.read( b );  
            }  
            catch( IOException e ) {  
            }  
  
            contingut_fitxer = new String( b,0 );  
  
            System.out.println("The content is ["+contingut_fitxer+"]");  
  
            if(contingut_fitxer.indexOf("20") != -1)  
                fitxer_imatge = "imatge_20.jpg";  
            else
```

```
        fitxer_imatge = "imatge_0.jpg";  
    }  
    System.out.println("Openning image file now " + fitxer_imatge);
```

Capítol 7: Conclusions

A l'hora d'estudiar els diferents mètodes que es poden fer servir, s'han vist defectes per a cadascun d'ells, però alhora també força punts a favor.

Quan s'ha fet l'anàlisi del sistema detector de senyals a través de imatges preses a temps real des de l'automòbil, s'ha vist que és un sistema totalment dependent dels agents exteriors. Com ja s'ha comentat, aquest fet fa que s'hagi de tenir molta cura a l'hora de triar la metodologia correcta per tal de desenvolupar un bon algorisme que tingui un rang d'encert que sigui fiable 100% en el procés de detecció. El fet que un algorisme presenti errors a l'hora de detectar un senyal, fa que l'algorisme en qüestió s'hagi de rebutjar, doncs és totalment inviable que per pantalla es mostri un símbol que no és correcte. A aquest fet, si es tenen en compte les diferents i variables condicions canviant amb les que un vehicle haurà de circular el faria, en un principi, descartable. Ara bé, aquest algorisme té un punt que li juga molt a favor. Si es trobés una algorisme que fos fiable 100%, aquest és un sistema que econòmicament és força viable una vegada s'ha desenvolupat. Això és així gràcies a que amb un sol codi es podrien llegir els nombrosos senyals de la carretera. Aquest fet se li ha d'afegir que no té més costos de manteniment que els d'actualització del programa a mesura que apareguin senyals nous. No obstant, s'ha de tenir en compte que és un sistema que requereix d'una forta inversió inicial, doncs crear un sistema que sigui capaç de reconèixer tots els senyals diferents, amb els codis de colors i en funció dels agents exteriors adversos és una tasca molt i molt complexa.

El sistema de detecció de senyals dissenyat per Opel, basat en una càmera que analitza l'entorn, té una limitació força considerable respecte la implementació del mateix sistema en radiofreqüència. Aquesta limitació és que el sistema dissenyat per Opel només detecta els senyals de límit de velocitat. Tota la resta de senyals passen desapercebudes pel sistema. Per tant, en aquest aspecte, s'hauria de desenvolupar una actualització per l'algorisme creat per la marca Alemanya i, d'aquesta manera, igualar les prestacions dels dos sistemes analitzats. No obstant, la situació actual fa decantar la balança d'una manera clara a favor del sistema de detecció de senyals a través de la radiofreqüència, doncs la codificació de totes les senyals és molt més factible i segura.

Paral·lelament, després d'analitzar el sistema de radiofreqüència les conclusions extremes són ben diferents. Com ja s'ha dit, aquest és un sistema que fallarà en molt poques ocasions. A l'hora d'implementar-lo s'ha de tenir en compte el tipus de tag a fer servir en funció de la velocitat de transmissió, de la distància de lectura i de les dades a transmetre. Una vegada estigui decidit això, vindrà una tasca que més que complexa serà força costosa. Aquesta, és el dotar cada senyal amb un tag i un codi propis. El preu del tag (aproximadament uns 9€), i el número de senyals que hi ha escampades arreu del territori (aproximadament 125.000 a la ciutat de Barcelona), fan que econòmicament sigui un sistema poc viable a curt termini. Igualment, no cal oblidar que s'haurà de dotar a cada cotxe d'un dispositiu de lectura i anàlisi de tags, i d'un sistema que en tradueixi la informació, fet que econòmicament encara fa més inviable el sistema a curt termini. Un altre factor que s'ha de tenir molt en compte és el fet que els tags consumeixen energia i que les bateries, lògicament, s'acaben gastant. Aquest punt té una

solució força sostenible. Com ja s'ha comentat, existeixen plaques solars que permeten que les bateries s'alimentin del sol i, per tant, es redueixi la despesa en bateries no reutilitzables. Ara bé, si es compara el preu del tag esmentat anteriorment, amb el preu d'un senyal⁵, es pot veure que, comparativament surt molt més econòmic el sistema guiat per radiofreqüència.

Vistos i analitzats aquests punts, personalment he arribat a les següents conclusions.

Sembla que la qüestió de dotar a cada senyal d'un tag que permeti llegir i detectar de quin senyal es tracta és un fet força més car que el de desenvolupar un sistema que el detecti de manera automàtica. Ara bé, per altra banda la fiabilitat que dona un sistema que és segur en un percentatge tan alt com ho és el de detecció per radiofreqüència, fa pensar que val la pena invertir-hi. La fiabilitat, junt al saber que la inversió forta és la inicial, i que després només s'ha de fer un manteniment mínim, fa pensar que és un mètode que es pot instaurar a llarg termini d'una manera no utòpica.

Crec que lo ideal seria que l'Estat financés la instal·lació dels tags als senyals. D'aquesta manera, s'evitaria que empreses privades invertissin en desenvolupar un sistema que tingués la mateixa funció i, conseqüentment, augmentessin els preus de venda del producte final. Penso que és un deure de les entitats governamentals que les carreteres siguin segures i, per tant, el govern és qui ha de fer les inversions oportunes. Com que els senyals són propietat de l'estat, ells haurien de procurar el manteniment i desenvolupament d'aquest sistema.

Ara bé, si es cregués que el sistema no compleix els requisits oportuns per a la seva implementació, aleshores crec que s'hauria de portar a terme el desenvolupament del sistema d'anàlisi d'imatges a temps real. No obstant, al ser aquesta tasca un desenvolupament per fer més segures les carreteres, segueixo ferm amb la idea de que la inversió pel desenvolupament de la tecnologia que ho permetés fer hauria de sortir de les arques públiques.

Un dels punts més interessants que penso que s'han d'extreure de l'estudi presentat, són les aplicacions en matèria de seguretat que es poden crear a partir de les idees proposades. Si es planteja el projecte presentat com un primer graó cap a l'automatització dels vehicles, crec que és molt interessant el fet que cada vehicle sàpiga, de manera automàtica, sense l'ajuda del conductor i independentment dels vehicles de l'entorn, la velocitat o perills amb els que circula per la via. Aquest fet hauria de donar peu a crear sistemes que en un futur ajudin a evitar accidents i, per tant, salvar vides. Si es dotés als automòbils de mecanismes de desaceleració o avís que actuessin conjuntament a aquests avisadors, la circulació seria molt més segura i respectuosa del que ho és ara. Un sistema com el de la radiofreqüència, que disposés de sistemes de frenada independent a la del conductor, podria fer que ningú es saltés un "stop", un "ceda el paso" o un semàfor en vermell entre altres. Quan el vehicle rebés l'avís de que el senyal s'acosta i el conductor no fes cap gest per variar la velocitat, els sistemes de seguretat independents, sempre i quan estiguessin activats, podrien actuar i arribar a frenar el cotxe.

Personalment, opino que és una bona línia en la que invertir i investigar degut a la perillositat de les carreteres per culpa de les imprudències de molts conductors.

(5) El preu d'un senyal circular és de 104.18€ per unitat, i el dels triangulars és de 127.32€ per unitat. A aquest preu s'ha d'afegir el pal i el fonament, que costen 24.65€ el pal, i 106.10€ el fonament.

7.1.- S'han complert els objectius?

Després de tota la feina feta durant tots els mesos que ha durat el projecte, s'ha pogut veure una evolució del treball i uns resultats finals. En primer lloc, cal fer esment que s'ha dut a terme una implementació pràctica d'un sistema que pot ser clau en el desenvolupament de sistemes de seguretat pels automòbils, fet que era l'objectiu a desenvolupar. Com s'ha pogut veure i demostrar, crear sistemes que permetin llegir i interpretar les carreteres és viable. Aquest fet, era el punt base que es va plantejar al principi i s'ha demostrat físicament que és possible. Igualment, s'han donat alternatives d'idees que poden servir per a crear sistemes paral·lels de detecció de senyals. Aquests es fonamenten en l'anàlisi de les imatges a temps real i, tot i que tenen una implementació molt més complexa, el sistema ja creat per Opel demostra que és factible reconèixer els senyals (almenys els de velocitat) a través de l'anàlisi d'imatges.

Per tant, es pot dir que amb els mitjans amb els que hem disposat, s'han dut a terme els objectius proposats. Ara falta veure si a gran escala el projecte ajuda a evitar accidents realment, és a dir, si és efectiu. Això, no obstant, no és possible demostrar-ho.

7.2.- Ampliacions del projecte:

Ara que el projecte ha acabat, es pot comprovar que els objectius que es buscaven s'han complert. No obstant, val la pena reflexionar sobre la feina feta i sobre els punts que no s'han pogut desenvolupar, els que es poden millorar i els que no s'han desenvolupat de manera correcta.

A) Millorar el codi font

Seria interessant que es fes un repàs al codi desenvolupat en la demostració pràctica. Aquest codi s'ha desenvolupat seguint un patró de codi font que venia amb els dispositius, i és per aquest motiu que probablement és millorable. Treballar de manera específica sobre el codi, pot tenir com resultat la creació d'un codi més òptim. Aquest fet pot significar que el funcionament del sistema sigui més eficaç, més ràpid i més fàcil d'instal·lar a les aplicacions.

Per tant, quan s'ha demostrat que el vehicle pot reconèixer senyals a mesura que es creua amb ells, s'ha donat per complert l'objectiu.

B) Ampliar el ventall de senyals

Això vol dir que, partint d'un codi base, s'han d'assignar nous codis que significarà que l'aplicació pugui detectar nous senyals. Per poder dur a terme això, cal comprar nous dispositius, i programar-los. Un vegada es tingui una xarxa de senyals mínimament gran, es podria crear una maqueta on instal·lar-los per simular l'entorn real i buscar quins defectes es poden millorar.

C) Buscar millores de hardware

Tal com s'ha dit prèviament, el kit de desenvolupament triat per a dur a terme el projecte ha estat subministrat per la universitat. Aquest kit no s'ha provat en espais exteriors i, per tant, no se sap quina tolerància té als agents externs. Això vol dir que no s'ha pogut veure si amb temperatures de molt fred o molta calor, el kit comunica d'igual manera o pateix alteracions que s'hagin de tenir en compte.

Igualment, seria una bona eina la instal·lació de plaques solars que subministressin l'energia al kit. S'han de buscar components que transmetin el mateix voltatge i que disposin de pinatge compatible amb el de la placa del xip. Mirant les característiques tècniques del xip i de la placa es pot veure fàcilment si aquests accessoris serien, o no, adients.

D) Tecnologia diferent:

Per a implementar el projecte en qüestió s'ha dut a terme una demostració que feia servir tecnologia de radiofreqüènciaID. Igualment, s'han donat eines per intentar desenvolupar un sistema que portés a terme la mateixa funció mitjançant imatges preses a temps real.

No obstant, al mercat existeix un ventall de tecnologies molt i molt ampli. Aquestes, no tenen perquè ser menys òptimes a l'hora de desenvolupar un sistema com el dut a terme. Val la pena, doncs, fer una recerca de tecnologia que sigui vàlida per a dur a terme el projecte en qüestió. Exemples d'aquesta tecnologia ja existent els podem trobar en un sistema com el GPS, en la interacció de telèfons mòbils amb altres dispositius, etc.

Bibliografia

Informació referent a la detecció de càmeres en funció d'imatges preses a temps real:

Article explicatiu de mètodes de detecció i reconeixement de senyals de trànsit
http://www.isd.mel.nist.gov/documents/shneier/Road_Sign_Detection.pdf

Article que parla sobre el reconeixement de senyals de trànsit basat en el color
http://www.cs.utep.edu/ofuentes/lopez_ICIAR07.pdf

Article que tracta sobre mètodes ràpids de detecció de senyals
http://www.nada.kth.se/~gareth/homepage/local_site/papers/loy_iros04.pdf

Article que parla sobre la detecció de senyals
<http://navanitarakeri.com/RoadSignDetection.pdf>

Reconeixement de senyals a temps real
http://www.eurojournals.com/ejsr_25_3_13.pdf

Informació referent a RF i RFID:

Informació genèrica sobre RFID
<http://ca.wikipedia.org/wiki/RFID>

<http://es.wikipedia.org/wiki/RFID>

Portals especialitzats en RFID
<http://www.rfidjournal.com/>

<http://www.rfid-magazine.com/>

Referència de tecnologia RF
<http://focus.ti.com/lit/ml/slab052b/slab052b.pdf>

Informació referent a ZigBee:

Article explicatiu de la tecnologia ZigBee
<http://www.idg.es/Comunicaciones/articulo.asp?id=173363>

Aplicacions i característiques del tecnologia ZigBee
<http://www.sg.com.mx/content/view/392>

Portal de la companyia ZigBee Alliance
<http://www.zigbee.org>

Portal que explica la tecnologia ZigBee
<http://www.rtc magazine.com/home/article.php?id=100656>

Informació referent al Kit de desenvolupament:

Pàgina de característiques del protocol MSP430
<http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/ez430-rf2500.html>

Pàgina explicativa de les característiques del Kit emprat
http://www.en-genius.net/site/zones/greentechZONE/product_reviews/grnp_092407

Característiques tècniques del Kit emprat
<http://focus.ti.com/lit/ds/slas504b/slas504b.pdf>

Referència del mòdul cc2500

<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2500.pdf>

Explicació de possibles aplicacions de ZigBee

<http://www.ti.com/corp/docs/landing/simpliciTI/index.htm>

Informació referent a SimpliciTI:

Informació de producte del protocol SimpliciTI

<http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/simpliciti.html>

Article explicatiu de la tecnologia ZigBee

<http://focus.ti.com/pr/docs/preldetail.tsp?sectionId=594&preId=sc07149>

Informació sobre l'estat de l'art:

Web de projectes similars al realitzat

<http://www.cabintec.net/proyectos-esenal.asp>

<http://www.infonomia.com/inf/articulo.php?id=167&if=56>

Informació general:

Article d'opinió que parla sobre l'estat de les senyals i les carreteres

http://www.elpais.com/articulo/sociedad/senales/nos/traicionan/elpepisoc/20090523elpepisoc_1/Tes

Subministradors de tecnologia RFID:

Empresa que es dedica a la venda de material RFID

<http://www.logismarket.es/tags-transpondedores/9917586-cp.html>

Empresa contactada per adquirir un kit de desenvolupament

http://tagingenieros.com/menu_sup/inicio.php

L'autor, Miquel Riera i Marimon.